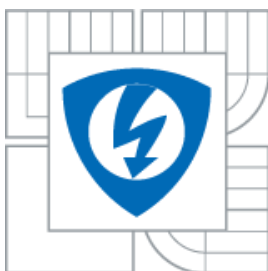




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONICAL TECHNOLOGY

DYNAMICKÁ ELEKTRONEUROSTIMULACE

DYNAMICAL ELECTRONEUROSTIMULATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Petr Míka

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Jiří Špínka

BRNO 2010



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav elektrotechnologie

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Mikroelektronika a technologie

Student: Petr Míka
Ročník: 3

ID: 75485
Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Dynamická elektroneurostimulace

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte dostupnou literaturu a se seznamte se s terapeutickými přístroji DiaDENS PC a DiaDENS - Cardio.

Zpracujte informace o metodě dynamické elektroneurostimulace a signálech, se kterými jednotlivé komerčně vyráběné přístroje pracují. Pokuste se tyto signály vyhodnotit.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 8.2.2010

Termín odevzdání: 3.6.2010

Vedoucí práce: Ing. Jiří Špinka

prof. Ing. Radimír Vrba, CSc.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Licenční smlouva poskytovaná k výkonu práva užít školní dílo

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Petr Míka
Bytem: Ostrava, Engelmüllerova 6, 702 00
Narozen/a (datum a místo): 25. 3. 1986, Ostrava

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 244/53, 602 00 Brno
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Ing. Radimír Vrba, CSc.
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
 - ☐ diplomová práce
 - ☒ bakalářská práce
 - ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Dynamická elektroneurostimulace
Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Jiří Špinka
Ústav: Ústav elektrotechnologie
Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v:

- ☒ tištěné formě – počet exemplářů 2
- ☒ elektronické formě – počet exemplářů 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 3. 6. 2010

.....
Nabyvatel

.....
Autor

Abstrakt:

Předkládaná práce popisuje metodu dynamické elektroneurostimulace a zabývá se jejími vlastnostmi a přístroji které slouží k jejímu provádění. Základním zaměřením práce je podat souhrnné informace o metodě dynamické elektroneurostimulace a o problematice modelování impedance lidské tkáně a získat informace o signálech se kterými pracují přístroje určené k provádění metody.

Abstract:

This work describes method of dynamic electroneurostimulation and it's properties and apparatuses which are used to accomplish the method. The general aim of this work is to furnish collective information about method of dynamic electroneurostimulation and about problems of modelling a human tissue impedance and to acquire information about signals which apparatuses work with.

Klíčová slova:

Dynamická elektroneurostimulace, impedance lidské tkáně, DiaDENS.

Keywords:

Dynmic electroneurostimulation, impedance of human tissue, DiaDENS.

Bibliografická citace díla:

MÍKA, P. Dynamická elektroneurostimulace. Brno, 2010. 63 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Špinka. FEKT VUT v Brně

Prohlášení autora o původnosti díla:

Prohlašuji, že jsem tuto vysokoškolskou kvalifikační práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce, s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 3. 6. 2010

.....

Poděkování:

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Špinkovi za metodické a cíleně orientované vedení při plnění úkolů realizovaných v průběhu zpracovávání diplomové práce.

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| ÚVOD | 8 |
| 1 METODA DENS | 9 |
| 1.1 VZNIK METODY DENS | 9 |
| 1.2 PRINCIP A PŮSOBENÍ METODY DENS | 10 |
| 1.3 VLASTNOSTI METODY DENS | 11 |
| 1.3.1 <i>Efekty elektroneurostimulace</i> | 12 |
| 1.3.2 <i>Indikace a kontraindikace léčby metodou DENS</i> | 12 |
| 1.3.3 <i>Slučitelnost použití přístrojů DiaDENS a jiných léčebných metod</i> | 13 |
| 1.4 PŘÍSTROJE PRO PROVÁDĚNÍ TERAPIE METODOU DENS | 14 |
| 1.4.1 <i>Režimy přístrojů DiaDENS</i> | 15 |
| 1.5 ZÓNY PRO STIMULACI METODOU DENS | 18 |
| 1.5.1 <i>Zóna přímé projekce pacientových obtíží</i> | 18 |
| 1.5.2 <i>Segmentové zóny</i> | 18 |
| 1.5.3 <i>Zóny obecného působení</i> | 18 |
| 1.5.4 <i>Triggerové zóny</i> | 19 |
| 2. IMPEDANCE KŮŽE | 19 |
| 2.1 DEBYEHO MODEL IMPEDANCE KŮŽE | 20 |
| 2.2 COLEŮV MODEL IMPEDANCE KŮŽE | 21 |
| 2.2.1 <i>Určení impedance v Coleově modelu</i> | 22 |
| 2.3 MODEL VOLNÉ KONDUKTANCE – ALTERNATIVA KE COLEOVU MODELU | 23 |
| 2.3.1 <i>Určení impedance v modelu volné konduktivity</i> | 24 |
| 2.4 MODEL PRO IMPEDANCI LIDSKÉ KŮŽE V PRŮBĚHU POVRCHOVÉ FUNKČNÍ NEUROMUSKULÁRNÍ STIMULACE VYTVOŘENÝ STEPHENEM J. DORGANEM A RICHARD B. REILLYM | 25 |
| 3. PŘÍPRAVA MĚŘENÍ A MĚŘENÍ SIGNÁLŮ GENEROVANÝCH PŘÍSTROJI DIADENS | 28 |
| 3.1 MĚŘENÍ IMPEDANCE LIDSKÉ TKÁNĚ PRO NÁHRADNÍ MODEL | 28 |
| 3.1.1 <i>Výroba elektrod</i> | 28 |
| 3.1.2 <i>Měření impedance lidské tkáně</i> | 29 |
| 3.2 VÝROBA NÁHRADNÍHO ELEKTRICKÉHO MODELU IMPEDANCE LIDSKÉ TKÁNĚ | 32 |
| 3.2.1 <i>Získání parametrů prvků náhradního schématu</i> | 32 |
| 3.2.2 <i>Tvorba prvku s konstantní fází podle návodu vytvořeného prof. Ing. Jurajem Valsou, CSc.</i> | 33 |
| 3.2.3 <i>Realizace modelu impedance lidské tkáně</i> | 35 |
| 3.3 MĚŘENÍ SIGNÁLŮ Z PŘÍSTROJŮ DIADENS-PK, DIADENS-PKM A DIADENS-CARDIO | 38 |
| 3.3.1 <i>Měření na přístroji DiaDENS-PK</i> | 38 |
| 3.3.2 <i>Měření na přístroji DiaDENS-PKM</i> | 40 |
| 3.3.3 <i>Měření na přístroji DiaDENS-Cardio</i> | 41 |
| 4 ZÁVĚR | 42 |
| 4 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ | 44 |
| 5 SEZNAM PŘÍLOH | 45 |
| 6 PŘÍLOHY | 46 |

Úvod

Na člověka a jeho tělo v moderním světě působí mnoho negativních faktorů, jako je nedostatek pohybu, nevyvážená strava nebo znečištěné ovzduší, které způsobují jeho vnitřní nerovnováhu. Zdravé tělo dokáže tuto nerovnováhu samo vyrovnávat, ale trvá-li nerovnovážený stav příliš dlouho, může přejít ve funkční poruchu. Tu již vnímáme jako zdravotní potíže, ale u potíží vyvolaných právě vnitřní nerovnováhou se při klasických lékařských vyšetřeních obvykle nenalezne nic, co by mohlo být označeno za příčinu těchto potíží. V důsledku toho pak při jejich léčení nezbývá nic jiného než se zaměřit na odstranění jejich projevů. Člověk pak bolest nebo jiné obtíže může přestat i vnímat, ale funkční porucha, která nebyla léčbou vyřešena, může zůstat a prohlubovat se. Po určitém čase následkem vnitřní nerovnováhy může dojít až ke změně struktury tkání a nemoc se začne plně projevovat. Tyto změny je již možné běžnými lékařskými metodami zjistit, ale mnohdy bývá pozdě na návrat ke zcela zdravému stavu. Pomocí metody dynamické elektroneurostimulace (DENS), mohou být nerovnovážné stavy v lidském těle odhaleny ještě před propuknutím jejich fyzických příznaků, a stejně tak mohou být pomocí této metody léčeny.

Z psychosomatických výzkumů vyplývá, že zdravotní stav člověka je ovlivněn i psychickými a emocionálními složkami. Nemoc může být leckdy vyvolána dlouhotrvajícími negativními emocemi. Přístroje využívající metodu dynamické elektroneurostimulace podporují lidské zdraví i touto cestou, protože jejich působením se zlepšuje nálada a celkový subjektivní stav.

Základem pro metodu dynamické elektroneurostimulace bylo široké spektrum poznatků z oblastí elektroneurostimulace a elektroneurodiagnostiky. Tato metoda slouží především k léčbě a obnově funkcí organismu, ale také k jejich diagnostice a prevenci. Pozitivní vliv má její použití před a po zvýšených fyzických výkonech, díky čemuž je využívána vrcholovými sportovci a při náročných povoláních k prevenci, lepší regeneraci a k rychlejší léčbě úrazů. Dále je tato metoda využívána v lékařství většinou v kombinaci s běžnou léčbou, kdy umožňuje rychlý nástup léčebného efektu bez přídavných vedlejších účinků, zkracuje dobu léčby a snižuje farmakologickou zátěž organismu, zabezpečuje účinnou analgezii při miniinvazivních výkonech a v pooperačním období. Podporuje příznivý průběh léčby akutních i chronických onemocnění a své využití má DENS-terapie i při první pomoci, a to jak při úrazech, tak při akutních případech (např. záchvatech). Metoda DENS má své místo i v kosmetologii jako jedna z nemedikamentózních metod řešení kosmetologických problémů, zejména při vyhlazování vrásek a odbourávání tuků a celulitidy. K velkým kladům, této metody patří to, že ale není určena jen pro odbornou praxi, ale využívat ji může i široká neoborná veřejnost.

Dynamická elektroneurostimulace je metoda nemedikamentózní léčby, která je založená na působení impulzů elektrického proudu na organismus hlavně na reflexní zóny a akupunkturní body lidského těla. Jednou z významných vlastností této metody, kterou se liší od ostatních podobných metod, je její adaptabilita. Ta se projevuje tak, že tvar použitých

impulzů závisí na hodnotě elektrické impedance tělního povrchu pod elektrodou. Účinek stimulace je založen na dráždění receptorů v akupunkturních bodech a reflexních zónách. Tímto drážděním jsou pak vyvolány mnohoúrovňové reflexní a neurochemické reakce, které spouštějí kaskádu regulačních a adaptačních mechanismů organismu. Ty pak způsobují likvidaci bolestivých syndromů, zlepšují krevní oběh, vyvolávají protizánětlivý účinek, aktivují tvorbu biologicky aktivních látek a metabolických procesů v tkáních, což pomáhá i k odstranění případných nežádoucích produktů metabolismu z patologických ohnisek, normalizují také tonus svalů a cév.

1 Metoda DENS

1.1 Vznik metody DENS

Kořeny metody dynamické elektroneurostimulace sahají až do starověké Číny, kdy byla objevena terapeutická metoda čen-ťiou, jako jeden z prvních pokusů o spojení vnějšího působení na určité lokality kůže s ozdravným účinkem v oblasti vnitřních orgánů.

Mezi nejjednodušší varianty terapie čen-ťiou, patří zavádění jehly do bolestivého místa a její následné vyjmutí okamžitě, nebo pár minut po vpichu. Ve většině případů je následkem této procedury okamžitý analgetizující účinek. Postupem času, když se zvyšovaly zkušenosti s touto metodou, se došlo k poznatku, že určité bolestivé symptomy u určitých vnitřních orgánů jsou doprovázeny reakcí stále stejných bodů na povrchu kůže a že mezi těmito body a vnitřními orgány existuje oboustranná vazba. Informace o těchto bodech se předávaly s generace na generaci a ke konci 3. století n. l. se poprvé objevily návody na čen-ťiou terapii s popisem asi 600 bodů na lidském těle a byly stanoveny indikace a kontraindikace použití této metody.

V 7. století objevil čínský léčitel Sun sy-Mjao, že mnohá onemocnění jsou spjata s výskytem bolestivého bodu na pokožce ucha, jehož požehování nebo nabodnutí vede k uzdravení. Toto se stalo základem pro vznik er-čen-liao (léčení jehlou na uchu).

Do Evropy se metoda čen-ťiou terapie dostala v 17. století a zde dostala název, pod kterým ji nyní běžně známe – akupunktura (z „aku“ – jehla a „punktum“ – bodnutí, tečka, bod). Poté se tato metoda začala intenzivně studovat i používat i v evropských a amerických zemích. O použití elektřiny v akupunktuře se zasadil doktor J. Niboyet, který zveřejnil řadu prací o použití elektroakupunktury v klinické praxi. V Rusku (odkud také metoda DENS pochází) se začala akupunktura zavádět až na počátku 19. století, ale jako léčebná metoda reflexní terapie byla oficiálně uznána až v roce 1997 na příkaz Ministerstva zdravotnictví Ruské Federace.

Na konci 19. století byly ruským internistou G. A. Zacharjinem a anglickým neurologem H. Headem popsány určité lokality na kůži, na kterých dochází při onemocnění určitých orgánů k různým změnám včetně bolestivosti. V roce 1912 byl na popud francouzského lékaře G. Yavorského zaveden název reflexní terapie pro označení léčebného působení vyvolávajícího aktivaci nervových reflexních mechanismů organismu. Pro tyto

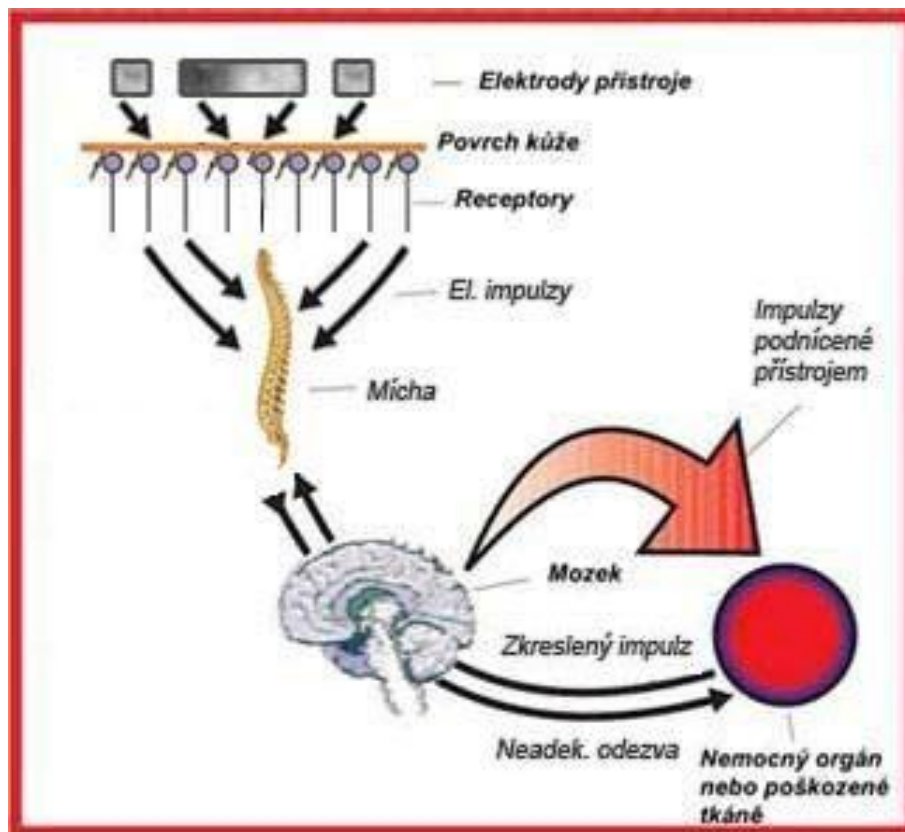
působení nebyla stanovena žádná omezení ohledně způsobu stimulace, a proto sem mohu být zařazeny jakékoli druhy reflexního působení (elektroterapie, světelná terapie, barevná terapie, aromaterapie, litoterapie, muzikoterapie, akvaterapie aj.). V současnosti do této oblasti spadá 17 metod reflexní diagnostiky a více než 40 variant terapeutického reflexního působení. Je třeba ovšem upozornit, že mnohé z nich nebyly oficiálně schváleny.

Do skupiny reflexních terapií patří i dynamická elektroneurostimulace. Experimentální a klinický výzkum začal někdy v 60. letech pro vojenské účely a kosmonautiku, byl ale utajován. Po odtajnění před samotným uvedením přístroje na trh probíhal rozsáhlý výzkum v letech 1998 – 2000 na cca 200 vědeckovýzkumných, nezávislých léčebných zařízeních MZ RF a Ruské akademie lékařských věd. MZ RF v roce 2005 oficiálně uznalo metodu DENS jako novou metodu elektroterapie, která spojuje diagnostiku i léčbu a provádí se přístroji DiaDENS (diagnostický dynamický elektroneurostimulátor). Vysoká léčebná efektivita používání DENS, a to jak lékaři i při domácím použití byla prokázána výsledky výzkumů prováděných v mnoha centrech. V roce 2006 bylo publikováno více než 300 vědeckých prací zabývajících se DENS lékaři různých odborností a pracovníky vědeckovýzkumného oddělení korporace DENAS MS. V současnosti k používání a i k výzkumu metody DENS probíhá i mimo Ruskou federaci (v Německu, Maďarsku, Polsku). Díky tomuto rozvoji ročně vychází stovky článků a prací v lékařských časopisech a na konferencích o DENS. DENS terapie se přednáší na řadě vysokých škol a to na dvou i v Německu.

1.2 Princip a působení metody DENS

V lidském těle probíhá velké množství elektrických impulsů (např. působení centrálního nervového systému, periferního nervového systému, sinusového uzlíku v srdci, práce plic, ledvin, močového měchýře způsobují myostimulace působící na CNS a PNS). Tyto signály se šíří pomocí nervů do míchy a odtud do mozku, který pak na příchozí informace reaguje (změna hladiny hormonu, zásobení krví apod.). Mezi orgánem a mozkem však může dojít k různému zkreslení signálu a mozek pak reaguje na zkreslenou informaci, proto může být jeho reakce neadekvátní a zdravotní stav se tak může zhoršovat. Historicky řešila tyto problémy východní medicína drážděním reflexních bodů a zón (akupunktura, akupresura viz kap 1.1). Uvedené signály je na určitých místech lidského těla možné detekovat a diagnostikovat (EEG, EKG).

Přístroje stimulující metodou DENS fungují tak, že dynamicky působí na nervová zakončení v příslušných bodech a drahách. Poté podle odezvy a reakce tkáně svoje impulzy mění. Funkce přístroje je založena na existenci tzv. biologické zpětné vazby, tedy že mozek reaguje na příchozí impulzy a jejich následkem dochází otevírání, nebo zavírání kapilár a tím k prokrvení zablokovaných buněk. Mění se jejich zásobení glukózou a kyslíkem, tím může dojít k plnohodnotnému obnovení jejich funkce. Pomocí stimulace metodou DENS tedy nedochází k přímému působení na orgány, na ty působí mozek a stimulace pouze pomáhají ke zlepšení toku informací k podnícení obranné reakce.



Obr 1.1: Princip funkce metody DENS

1.3 Vlastnosti metody DENS

Přístroje DiaDENS monitorují povrchovou impedanci kůže (MPIK) a změny vstupních parametrů proudu podle dynamiky jeho změn. Protože jsou změny těchto parametrů nepravidelné, nedochází mimo jiné i ke snížení účinnosti terapie, protože předchází vzniku odolnosti organismů (návyku na působení) na elektrické impulzy.

Vlastnosti přístrojů DENS umožňují:

- zvýšit léčebný účinek reflexní terapie při mnohých rozšířených onemocněních a patologických stavech
- snížit množství kontraindikací na minimum
- využívat dynamickou elektroneurostimulaci ke svépomoci a vzájemné pomoci doma, kdekoli při sportu a také třeba v dopravních prostředcích i na jakémkoli dalším místě

1.3.1 Efekty elektroneurostimulace

U metody Dynamické elektroneurostimulace byly zjištěny následující efekty.

- a) analgetizující
- b) protizánětlivý
- c) regulace napětí cév
- d) zlepšení mikrocirkulace
- e) snížení horečky
- f) imunomodulující a protialergický
- g) regulace napětí hladkého a kosterního svalstva

1.3.2 Indikace a kontraindikace léčby metodou DENS

Indikace použití přístrojů DiaDENS:

- a) Prevence onemocnění, recidiv chronických chorob, funkčních poruch, konkrétních symptomů a syndromů většiny známých nemocí včetně korekce poruch zjištěných v předklinickém stádiu pomocí metod tradiční diagnostiky.
- b) Zvětšení možností adaptace organismu, prevence a odstranění patologických stresových reakcí v podmínkách působení nepříznivých patogenních faktorů: při namáhavé tělesné a duševní práci, fyzickém a psychickém přetěžování, chronickém únavovém syndromu, obtížném raním probouzení, ospalosti ve dne, poruchám usínání večer, nespavosti, zvýšené podrážděnosti a/nebo plačtivosti, depresivních stavech, poruchách pohlavní funkce, ale také jako prevence nemocí z nachlazení.
- c) Léčení akutních a chronických bolestivých syndromů.
- d) Korekce funkčních poruch při nemocech kardiovaskulárního, kosterního a svalového, nervového, endokrinního a močopohlavního systému, onemocnění dýchacích a trávicích orgánů, uší, nosu, krku, očí a kůže.
- e) Rehabilitace po prodělaných nemocech, chirurgických výkonech a úrazech.

Kontraindikace použití přístrojů DENS jsou stanoveny příloze k osvědčení o registraci vydanému Federální službou kontroly v oblasti zdravotnictví a rozvoje Ruské federace. Existují dva druhy kontraindikací a to absolutní, kdy se přístroje DiaDENS nemají používat a relativní, při kterých je možno stimulaci provádět, ale až po konzultaci s lékařem, nebo v etapě přednemocniční pomoci.

Absolutní kontraindikace:

- a) Individuální nesnášenlivost elektrického proudu
- b) Implantovaný kardiostimulátor

Relativní kontraindikace:

- a) Epileptický stav; má-li ale pacient sérii epileptických záchvatů, mezi nimiž opětovně nabývá vědomí a tím spíše má-li jednotlivý záchvat, není použití DENS kontraindikováno ani pro zvládnutí křečového syndromu, ani pro použití na základě jiných obtíží v období mimo záchvaty.
- b) Novotvary jakékoli etiologie a lokalizace; Při zjištění novotvarů je ale možno provádět stimulaci pomocí DENS jako doplňkovou metodu analgezie a při jakékoliv jiné obtíži, která se u pacienta objeví a nesouvisí s hlavní patologií.
- c) Horečnaté stavy s nejasnou příčinou; tyto stavy jsou velmi vzácné, pokud lékař může určit příčinu zvýšené teploty se DENS používá jako prostředek pro její snížení a k působení na patologické ohnisko, které je její příčinou.
- d) Žilní trombózy.
- e) Stavy akutní psychické dekompenzace, požití alkoholu nebo psychotropních látek; v těchto případech je omezení metody DENS způsobeno především snahou o ochranu terapeuta, protože v těchto stavech může být chování pacienta neadekvátní a nepředvídatelné. Metoda v těchto případech není potenciálním nebezpečím pro pacienta a je dokonce možno ji použít za účelem detoxikace.
- f) Těhotenství; v příloze k osvědčení o registraci metody DENS se jeho relativní kontraindikaci při těhotenství nepíše. Nicméně v Manuálu dynamické elektroneurostimulace [1] se doporučuje DENS používat podle zásady čím méně tím lépe a jen na základě konkrétních obtíží. Také se nedoporučuje přístroj přikládat na přímou projekci dělohy.

1.3.3 Slučitelnost použití přístrojů DiaDENS a jiných léčebných metod

Otázku slučitelnosti je třeba řešit před každým využíváním komplexní terapie různými metodami. Obecně se volí takové faktory, aby se jejich léčebný účinek sčítal za účelem zvýšení jejich efektu.

Pokud je to třeba je možné použití metody DENS spojit s dalšími metodami reflexní terapie (akupunkturou, akupresurou, cubo, aplikační reflexní terapií, farmakopunkturní reflexní terapií), manuální terapií, balneologickými vodními a bahenními procedurami, fyzioterapií, homeopatií, léčebnou tělesnou výchovou, dietním stravováním a také s medikamentózní terapií. Jelikož metoda DENS působí na příčinu zdravotních problémů, je vhodné ji používat k symptomatickým terapiím: například při současném použití s analgetickými a spasmolytickými prostředky se snižuje dávkování a doba užívání farmak. Dynamická elektroneurostimulace není vhodná k použití ve dnech, ve kterých jsou prováděny fyzioterapeutické procedury (především elektroléčba).

1.4 Přístroje pro provádění terapie metodou DENS

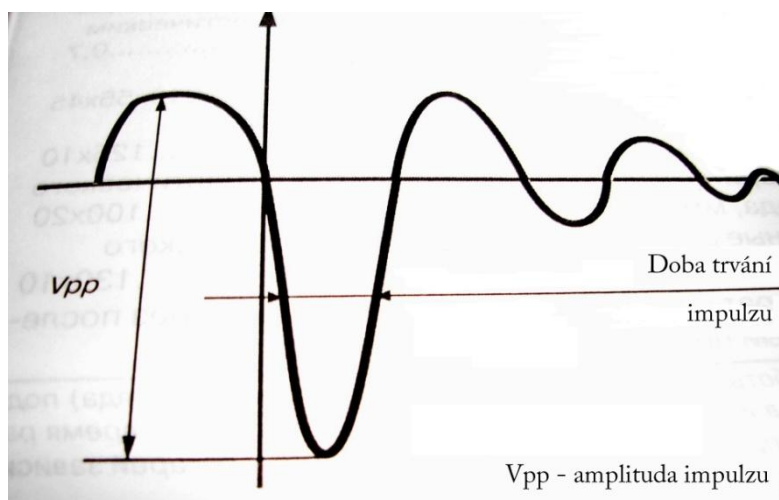
Dynamická elektroneurostimulace se provádí přístroji DiaDENS (diagnostický dynamický elektroneurostimulátor). Existuje několik druhů těchto přístrojů, z nichž nejvýznamnější jsou DiaDENS-T, DiaDENS-DT a DiaDENS-PK. Jednotlivé typy se od sebe liší svým určením, množstvím režimů, které nabízí i rozsahem frekvencí stimulujících signálů.

Přístroje DiaDENS-T pracují se signály o frekvenci 10 – 200 Hz a disponují léčebnými režimy THERAPY a MED a základními diagnostickými režimy TEST a SCREENING. Přístroje DiaDENS-DT, pracují se stejnými frekvencemi jako přístroje DiaDENS-T a disponují stejnými režimy, ale navíc umožňují použití dalších dvou diagnostických metod VOLL a BIOREPER a také navíc umožňuje určité testování přípravků, léků a potravin. Přístroje DiaDENS-PK jsou funkčně nejvybavenější. Mimo funkce a režimy se kterými pracují přístroje DiaDENS-DT, pracuje i na ultranízkých frekvencích 1 – 9,9 Hz, může generovat modulované signály 77 AM a 77/10.

Dalším typem přístroje pro DENAS terapii je přístroj DiaDENS-Cardio. Tento přístroj používá pouze frekvenci 9,2 Hz a frekvenčně modulovaný signál 77/10. Je určen pro pokles krevního tlaku u pacientů s labilní formou arteriální hypertenze a jako dodatekové působení při kúrové léčbě hypertenzní choroby v různých fázích. Aparát se umísťuje na biologicky aktivní body na zápěstí a jeho činnost je řízena mikroprocesorem.

V současnosti už byl vyvinut i přístroj ZooDENS pro použití na zvířatech. Je specifický svojí elektrodou, která umožňuje aplikaci terapie i v srsti zvířat.

U všech typů přístrojů kromě DiaDENS-Cardio je možnost plynule nastavovat intenzitu stimulačních signálů podle věku a individuálního prahu citlivosti k bolesti. Také je možnost je připojit k PC a zvýšit jejich účinnost díky využití speciálního počítačového programu.



Obr. 1.2: Impulz generovaný přístroji DiaDENS



Obr 1.3: Přístroj DiaDENS

1.4.1 Režimy přístrojů DiaDENS

Režim Therapy

Tento režim je určen k poskytování urgentní pomoci, k odstranění akutních obtíží a terapeutické stimulaci akupunkturálních bodů pomocí vestavěných a přídavných elektrod. Podle typu přístroje pracuje na frekvencích 1,0 – 9,9 Hz s minimálním krokem 0,1 Hz a frekvencích 10, 20, 60, 77, 140 a 200 Hz, nebo pouze frekvencích 20, 60, 77, 140 a 200 Hz. Vyšší frekvence se používají k řešení urgentních problémů, mají rychlý účinek, ale efekt se ztrácí po kratší době, zato u nižších frekvencí nastupuje efekt pomaleji, ale má delší trvání.

K režimu THERAPY se vážou i pomocné terapeutické režimy 77 AM a 77/10. V režimu 77/10 přístroj generuje střídavě impulzy o frekvencích 77 a 10 Hz. Efekt tohoto režimu je silně relaxační, snižuje stupeň vzrušení a vyvolává uvolnění a ospalost. Používá se ke zmírnění bolesti, při poruchách spánku a zvýšeném nervovém vypětí. V režimu 77 AM přístroj generuje impulzy o frekvenci 77 Hz, jejichž amplituda pravidelně klesá a roste. Efekt toho režimu je opačný než u 77/10. Může se používat k profylaxi a ošetření při fyzickém a psychickém vyčerpání, při nadměrných emocionálních zátěžích a depresivních náladách.

Program MED

MED (minimální efektivní dávka) je program řízený mikropočítačem. Jeho využití je v prevenci při očekávané namáhavé tělesné a duševní práci, fyzické nebo psychické přepracovanosti, chronickém únavovém syndromu, potížích s ranním probouzením, ospalostí ve dne, neschopnosti se soustředit a pro prevenci nemocí z nachlazení v období epidemií. Tento program pracuje na frekvenci 10 Hz a spočívá v postupném působení na zvolenou kožní zónu nejprve v režimu TEST s následným automatickým přechodem do režimu THERAPY a následné stimulaci na frekvenci 10 Hz po dobu 5 minut.

Režim TEST

Režim TEST je určen k určování funkčního stavu orgánů a systémů organismu. Funguje na principu vyhledávání latentních spouštěvých zón (tj. zón, jejichž impedance se výrazně liší od sousedních oblastí) a pracuje na frekvenci 10 Hz. Hodí se také k ošetření lokalit kůže, které jsou symetrické projekci obtíže.

Po spuštění režimu měří přístroj čas potřebný k tomu, aby se impedance v zóně pod elektrodou stabilizovala. Za spouštěvé se považují zóny, jejichž naměřený čas se výrazně liší od ostatních zón anebo ty, u kterých tento čas překročí dobu 1 minuty. Tyto zóny je pak třeba ošetřit v režimu THERAPY.

Režim SCREENING

Režim SCREENING je určen k rychlému posouzení homogenity elektrické impedance kožní zóny (MPIK) před a po aplikaci metody DENS. Tento režim také pracuje na frekvenci 10 Hz.

Režim funguje na principu měření rychlosti zvyšování impedance v dané zóně jako reakci na impuls vyslaný přístrojem. Výsledek měření je zobrazen v podobě indexu latentního triggeru Δ LT. Latentní zóny jsou ty lokality, kde se hodnota naměřeného indexu latentního triggeru podstatně liší od hodnot Δ LT naměřených v ostatních zónách.

Režim VOLL

Režim VOLL byl do přístrojů DiaDENS zařazen z důvodů optimalizace receptury stimulace a posouzení vývoje změn, ke kterým došlo v průběhu léčby. Metoda může být tak využita k testování medikamentózních a homeopatických přípravků a biologicky aktivních doplňků stravy.

Funkce režimu je založena na metodě německého výzkumného pracovníka R. Volla a jejím principem je měření elektrického proudu v akupunkturních bodech. Hodnoty proudu jsou udávány v relativních Vollových jednotkách. Pro účely diagnostiky používal Voll několik set akupunkturních bodů které nazval měrnými body. Dosažení spolehlivých výsledků touto metodou je podmíněno řadou závazných požadavků. Kůže nesmí být porušená a musí mít optimální vlhkost, měření musí probíhat v místnosti, ve které nejsou žádné zdroje elektromagnetického záření a nesmí v ní být podmínky pro vznik statické elektřiny. Důležité jsou také operátorovy dobré znalosti umístění energetických drah. Pokud jsou naměřené hodnoty v intervalu 50 – 65 Vollových jednotek znamená to, že energetická dráha na které měření probíhalo je v harmonii. Pokud jsou hodnoty mimo tento interval, poukazuje to na patologické procesy v orgánech a systémech.

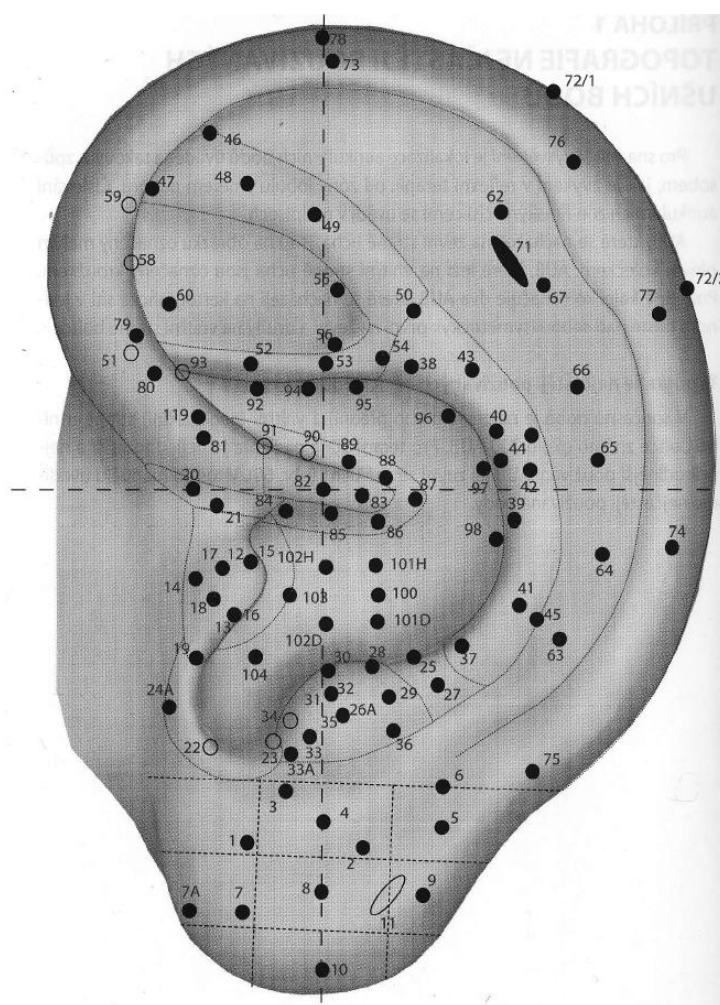
Režim BIOREPER

Název režimu BIOREPER je odvozen od slov „bio“ – „život“ a „reper“ – značka nebo bod v krajině sloužící jako nivelační značka v geodézii nebo dělostřelců při zastřelování. Je to

metoda aurikulární (na povrchu zevního ucha) diagnostiky. Touto metodou je možné zjistit chorobu ještě před jejím vypuknutím a pomáhá zvolit optimální způsob léčby a vyšetření a zjistit funkční stav zasažených orgánů.

Aurikulárních diagnostických metod existuje celá řada, ale BIOREPER se od ostatních liší tím, že zohledňuje různorodost faktorů ovlivňujících vodivost bodů včetně individuálního rozptylu vodivosti kůže v závislosti na vnějších nebo vnitřních podmínkách. Díky tomu tato metoda dosahuje podstatně vyšší přesnosti, reprodukovatelnosti výsledků a shody s klinickou diagnózou stanovenou na základě oficiálně uznávaných objektivních vyšetřovacích standardů.

Metoda je založena na přípravném měření celkové impedance zkoumaného organismu ve speciálním „zástřelném“ bodu a následujícím korelačním měření všech potřebných signálních bodů na uchu.



Obr 1.4: Aktivní body na zevním ušním boltci

- 1 – horní bod analgezie při extrakci zubů; 2 – patro (bod horní části dutiny ústní); 3 – dno dutiny ústní; 4 – jazyk;
 5 – horní čelist; 6 – dolní čelist; 7 – dolní bod analgezie při extrakci zubů; 8 – oči, první bod; 9 – vnitřní ucho;
 10 – mandle, čtvrtý bod; 11 – tváře; 12 – vrcholek tragu; 13 – nadledvina; 14 – zevní nos; 15 – hltan a hrtan; 16 – vnitřní nos;
 17 – žízeň; 18 – hlad; 19 – hypertenze; 20 – zevní ucho; 21 – srdce, druhý bod; 22 – žlázy s vnitřní sekrecí; 23 – vaječník;
 24 – zrak, první bod; 25 – mozkový kmen; 26 – bolest zubů; 27 – hrtan a zuby (bod třenových zubů a stoliček); 28 – hypofýza (bod mozku); 29 – týl; 30 – příušní žláza; 31 – regulace dýchání; 32 – varle; 33 – čelo; 34 – šedá kůra mozková; 35 – tchaj-jiang (spánky); 36 – vrchol lebky; 37 – krční páteř; 38 – křížová páteř; 39 – hrudní páteř; 40 – bederní páteř; 41 – krk; 42 – hrudník;
 43 – břicho; 44 – mléčná žláza; 45 – štítná žláza; 46 – prsty nohy; 47 – pata; 48 – hlezenní kloub; 49 – kolenní kloub;

50 – kyčelní kloub; 51 – sympatický nervový systém (bod sympatiku); 52 – sedací nerv; 53 – hýždě; 54 – lumbago (bod bolesti); 55 – šen-men (bod CNS a narkózy při operacích); 56 – pánevní dutina (děložní hrdlo); 57 – stehno; 58 – děloha (bod sexuality); 59 – bod snižující krevní tlak; 60 – astma (broncholytický bod); 61 – hepatitida, první bod; 62 – prsty ruky; 63 – klíční kost; 64 – ramenní kloub; 65 – rameno; 66 – loket; 67 – zápěstí; 68 – apendix, první bod; 69 – apendix, druhý bod; 70 – apendix, třetí bod; 71 – kopřivka; 72/1 – helix, první bod; 72/2 – helix, druhý bod; 72/3 – helix, třetí bod; 72/4 – helix, čtvrtý bod; 72/5 – helix, pátý bod; 72/6 – helix, šestý bod; 73 – mandle, první bod; 74 – mandle, druhý bod; 75 – mandle, třetí bod; 76 – syndrom jang jater, první bod; 77 – syndrom jang jater, druhý bod; 78 – vrchol ucha; 79 – zevní pohlavní orgány; 80 – močová trubice; 81 – konečník; 82 – bránice (nulový bod podle P. Nogiera); 83 – bod rozvětvení (bod solární pleteně podle P. Nogiera); 84 – ústa; 85 – jícen; 86 – kardie; 87 – žaludek; 88 – dvanáctník; 89 – tenké střevo; 90 – apendix, čtvrtý bod; 91 – tlusté střevo; 92 – močový měchýř; 93 – prostata; 94 – močovod; 95 – ledvina; 96 – slinivka břišní (vlevo) a žlučník (vpravo); 97 – játra; 98 – slezina; 99 – ascites; 100 – srdce; 101 – plíce; 102 – průdušky; 103 – průdušnice; 104 – tři části těla; 109 – podbřišek; 110 – nadbřišek; 121 – malý nerv týlní

1.5 Zóny pro stimulaci metodou DENS

1.5.1 Zóna přímé projekce pacientových obtíží

V případě zón přímé projekce pacientových obtíží se stimuluje přímo místo ve kterém se nachází obtíž, na kterou si pacient stěžuje (např. při lumbalogii zóna beder, při poškození kolenního kloubu přímo oblast poškozeného kloubu). Jedná se o jednu z nejjednodušších a nejefektivnějších DENS metod.

1.5.2 Segmentové zóny

Vnitřní orgány a určité místa kůže mají společné segmenty míchy, kterými se od nich vedou informace do CNS a zpět. Při stimulaci segmentových zón se vysílají impulzy DENS právě na kožní zóny, které mají společný segment s orgánem, na který chceme působit. Stimulace segmentových zón ovlivňuje mikrocirkulaci, metabolismus buněk, tkání a orgánů a produkci biologicky aktivních látek.

Segmentové zóny se dělí na ty s místním účinkem a s univerzálním účinkem. Pomocí těch prvních se přímo reguluje funkce konkrétních orgánů, stimulace druhých má vliv i na celkový stav organismu.

1.5.3 Zóny obecného působení

Jedná se o zóny, v jejichž projekci se nacházejí velké nervové útvary (mozek, vegetativní ganglia, trojklaný nerv) nebo bohaté mikrocirkulační řečiště. Stimulací těchto zón se dosahuje všeobecné přízpůsobivé reakce organismu.

1.5.4 Triggerové zóny

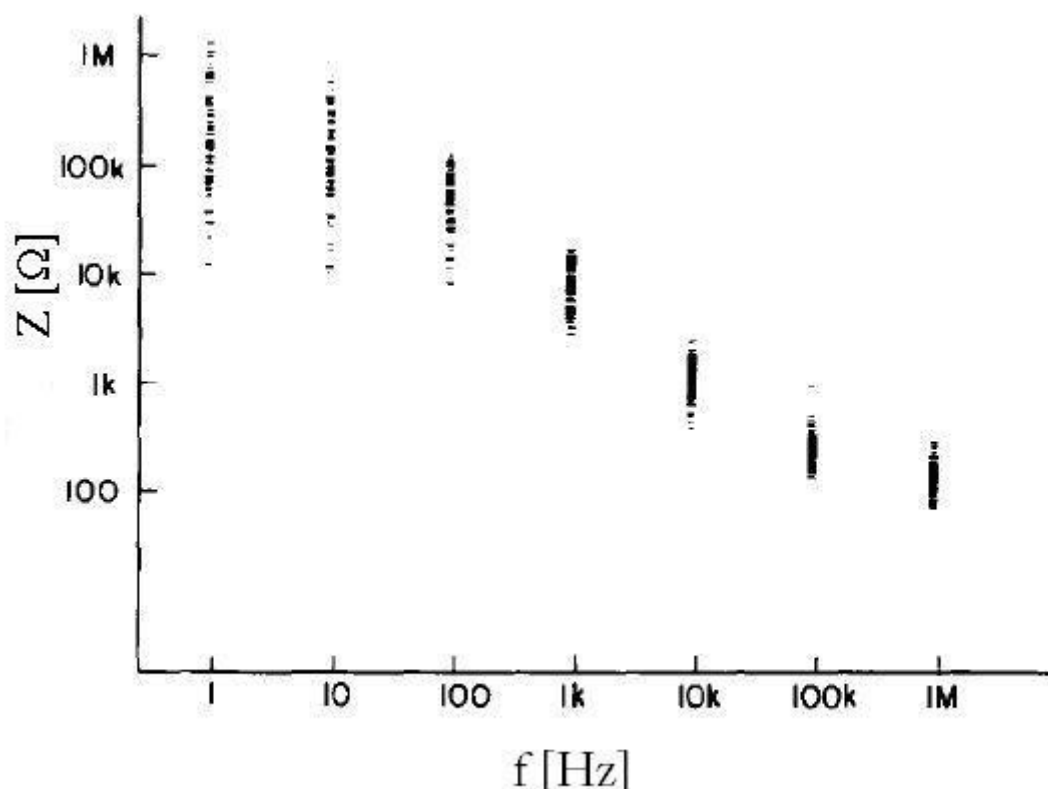
Jsou to zóny na určitých ohraničených oblastech kůže, ve svalech, šlachách a okostici, ve kterých dochází při poruše nebo změně struktury určitých orgánů k vadné pigmentaci, změně citlivosti, zvýšené bolestivosti nebo změně impedance.

Tyto zóny se standardně dělí na aktivní a latentní. Aktivní TZ může člověk odhalit sám, jsou to právě případy nepřímé bolestivosti a zvýšené citlivosti. Latentní zóny člověk sám odhalit nemůže, je to případ kdy je změněná impedance a odhalují se přístroji DiaDENS v režimu TEST.

2. Impedance kůže

Impulzy generované přístroji DiaDENS procházejí při stimulaci kůží, a proto jsou jejich tvar a amplituda ovlivněny její impedancí. Hodnota impedance lidské kůže je u každého člověka individuální a závisí také na tom, na kterém místě lidského těla se měří, na použité elektrodě, aktuálním fyzickém stavu člověka, teplotě okolí a mnoha dalších faktorech. Pro nízkofrekvenční impedanci, která je pro impulzy generované přístroji DiaDENS rozhodující je navíc velmi důležité, jestli kůže byla nějak obroušena nebo poškrábána. Tím je totiž porušena bariérová vrstva a nízkofrekvenční impedance kůže drasticky klesá. U nízkofrekvenční impedance mají také hodnoty impedance největší rozptyl.

Toto potvrzují výsledky měření, které provedli Javier Rossel, Josep Colominas, Pere Riu, Ramon Palas-Areny a John G. Werster. Měřena byla impedance kůže, na které byl nanesený gel, ale jinak připravována nebyla. Měření probíhalo od 1 Hz do 1 MHz, na deseti místech na hrudníku, noze a čele u deseti subjektů. Měření probíhalo při typických teplotách 25 °C a relativní vlhkosti mezi 60 a 70%. Trend naměřených impedancí se lišil pro danou osobu a také závisel na subjektu. Všechny naměřené impedance jsou ukázány na obr 2.1. Malý rozptyl dat mezi 100 kHz a 1 MHz naznačuje, že vysokofrekvenční impedance je téměř stejná pro všechna umístění elektrody a pro všechny subjekty. To naznačuje, že sériová vysokofrekvenční rezistence v běžném tříprvkovém modelu impedance kůže (viz. obr. 2.1) může být přibližně 120 Ω . Mezi 1 kHz a 100 kHz dochází k většímu rozptylu, který může být modelován 10 - 40 nF kondenzátorem odpovídajícím kapacitanci bariérové vrstvy na kůži. O hodně větší kolísání hodnot nízkofrekvenční impedance může být modelováno rezistorem paralelně zapojeným s kondenzátorem. Tento rezistor představuje rezistanci bariérové vrstvy a může být jednoduše snížen lehkým obroušením. Na obr. 2.1 jsou uvedeny naměřené hodnoty závislosti absolutní hodnoty impedance v závislosti na frekvenci.



Obr 2.1: Hodnoty impedance kůže naměřené Javierem Rosselem, Josepem Colominasem, Perem Riu, Ramonem Palas-Areny a Johnem G. Wersterem

To jak kůže ovlivňuje elektrický signál, který jí prochází, není jednoduché a lidská kůže se nechová lineárně. Z toho důvodu je obtížné její impedanci modelovat a přesný model nebyl dosud nalezen. Nicméně modelů, které se pokoušejí impedanci kůže modelovat alespoň v určitých případech, nebo dosáhnout alespoň určité přesnosti existuje řada.

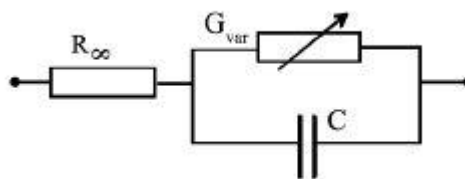
2.1 Debyeho model impedance kůže

Tento model byl představen v roce 1929 Peterem Debyem. Jeho největší předností je jeho jednoduchost. Impedance je vyjádřena jednoduchou komplexní rovnicí, náhradní model se skládá pouze z několika málo ideálních lineárních součástí a grafickým zobrazením v komplexní rovině je kruhový oblouk.

Debyeho obvod je ukázán na obr. 2.2. Impedance obvodu je

$$Z = R_{\infty} + \frac{1}{G_{\text{var}} + G_{\text{var}} j \omega \tau_Z} \quad \tau_Z = C / G_{\text{var}} \quad (1)$$

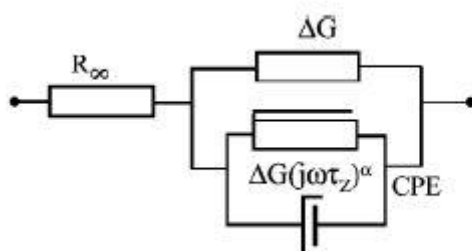
kde Z je komplexní impedance $[\Omega]$, R_{∞} je elektrický odpor při velmi vysokých frekvencích, j je imaginární jednotka, ω je úhlová rychlost $[1/s]$, τ_Z je charakteristická relaxační časová konstanta $[s]$ obvodu odpovídající charakteristické úhlové frekvenci $\omega_Z = 1/\tau_Z$, C je paralelní kapacitance $[F]$ a G_{var} je nezávislý parametr konduktance $[S]$.



Obr 2.2: Debyeho náhradní obvod s ideálními komponenty

2.2 Coleův model impedance kůže

Představen byl ve své konečné podobě Kennethem Colem v roce 1940. Je založen na nahrazení ideálního kondenzátoru v Debyeho modelu více všeobecným prvkem s konstantní fází (CPE – constant phase element). Myšlenka představení CPE vznikla po několika objevech v elektrochemii a v oblasti suspenzí tkání a buněk, kde měřená impedance v komplexní rovině odpovídala kruhovým obloukům se středy kruhů pod reálnou osou a tyto byly nejlépe modelovány právě prvkem s konstantní fází. Stejně jako Debyeho model má tento také jednoduché matematické vyjádření, ale náhradní obvod obsahuje nelineární součástky, které tvoří prvek s konstantní fází.



Obr 2.3: Coleův náhradní obvod s ideálním kondenzátorem nahrazeným nelineárními součástkami

Coleova empirická rovnice pro frekvenční závislost komplexní impedance tkáňové nebo buněčné suspenze je

$$Z = R_\infty + \frac{R_0 - R_\infty}{1 + (j\omega\tau_Z)^\alpha} \quad (2)$$

Kde R_0 je odpor při velmi nízkých frekvencích, τ_Z je charakteristická časová konstanta systému odpovídající charakteristické úhlové frekvenci $\omega_Z = 1/\tau_Z$, a α je exponent [bezrozměrný].

Výraz $\omega\tau_Z$ je bezrozměrný a $(j\omega\tau_Z)^\alpha$ představuje CPE pokud je α konstantní, protože

$$j^\alpha = \cos(\alpha\pi/2) + j \cdot \sin(\alpha\pi/2) \quad (3)$$

Ekvivalentní obvod CPE se skládá z rezistoru a kondenzátoru, obou frekvenčně závislých (neideálních) tak, že fáze φ_{CPE} je frekvenčně nezávislá.

Dosažením $1/\Delta G$ za $R_0 - R_\infty$ do Coleovy rovnice získáme

$$Z = R_\infty + \frac{1}{\Delta G + \Delta G(j\omega\tau_Z)^\alpha} \quad (4)$$

Kapacitance C_{CPE} z rovnice (4) CPE kondenzátoru je

$$C_{CPE} = \frac{\Delta G}{\omega} (\omega\tau_Z)^\alpha \cdot \sin(\alpha\pi/2). \quad (5)$$

Rozměr G/ω , a proto tedy i C_{CPE} je [S s] nebo [F]. Ekvivalentní obvod je ukázán na obr. 2.3.

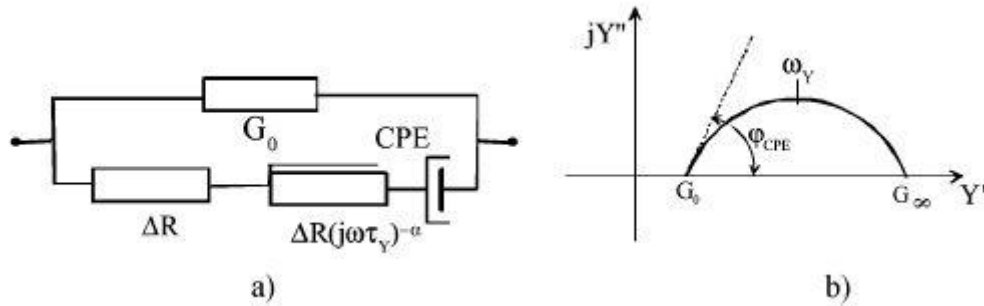
Coleův model obsahuje prvek CPE v paralelním zapojení s ideální konduktancí ΔG . Protože admittance CPE $\Delta G(j\omega\tau_Z)^\alpha$ je úměrná té stejné konduktanci ΔG , je v Coleově modelu konduktance závislým parametrem.

Admitanční verze Coleova náhradního obvodu je ukázána na obr. 2.4(a)

$$Y = G_0 + \frac{G_\infty - G_0}{1 + (j\omega\tau_Y)^{-\alpha}} \quad (6)$$

kde Y je komplexní admittance ($Y = 1/Z$) [S], G_∞ je konduktance při velmi vysokých frekvencích a G_0 je konduktance při velmi nízkých frekvencích.

Hodnoty imitance mohou být zobrazeny v komplexní rovině, obr 2.4(b). Graf imitance pro všechny rovnice uvedené v tomto článku má formu kruhového oblouku.



Obr. 2.4: Admitanční Coleův model. (a) Ekvivalentní model odpovídající k (6) s $G_\infty - G_0 = 1/\Delta R$. (b) Y-diagram v komplexní rovině. ω_Y je charakteristická frekvence, ze které je τ_Y určeno jako: $\tau_Y = 1/\omega_Y$.

2.2.1 Určení impedance v Coleově modelu

Coleova rovnice (2) má čtyři parametry, pro případ impedanční rovnice to jsou R_∞ , R_0 , τ_Z a α , a proměnnou ω . Problém určení čtyř parametrů rovnice z naměřených výsledků je jednoduchý – lze je zjistit přímo z Wesselova diagramu. R_∞ , R_0 a ϕ_{CPE} jsou určeny geometrií oblouku a charakteristická časová konstanta $\tau_Z = 1/\omega_Z$ je určena z měřené frekvence na vrcholu oblouku. Nicméně jak je uvedeno v [4] může být nemožné korektně interpretovat výsledky, pokud experiment pokračuje a jsou naměřena nová data. Například, i pokud se v průběhu experimentu mění pouze ω_Z , nastal by rozpor s rovnicí (4), protože by došlo ke změně ideální konduktance ΔG .

2.3 Model volné konduktance – alternativa ke Coleovu modelu

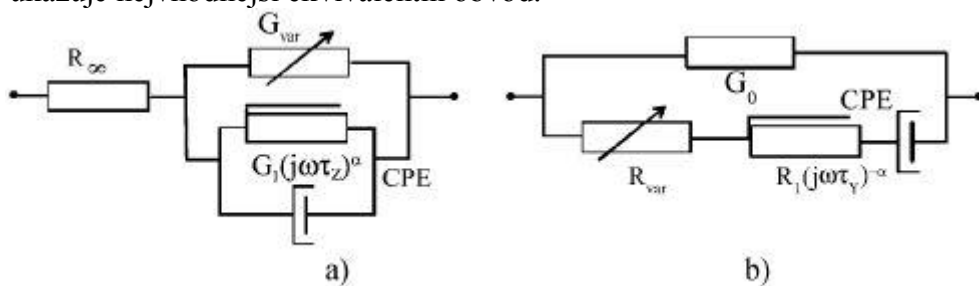
Tento model je podobný Coleovu modelu a také využívá prvek s konstantní fází. V Coleově modelu je konduktance je závislá veličina a časová konstanta nezávislá. Nicméně časová konstanta tkáně nebo suspenzí buněk je závislá na konduktanci a tak Coleův model neodpovídá relaxační teorii. Toto se snaží odstranit právě model volné konduktance, kde je časová konstanta na konduktanci závislá. Proto tento model všeobecně lépe odpovídá tkáňovým a buněčným suspenzím a v současnosti bývá často používán.

Rovnice vyjadřující impedanci a admitanci v tomto modelu jsou

$$Z = R_{\infty} + \frac{1}{G_{var} + G_1(j\omega\tau_Z)^{\alpha}}$$

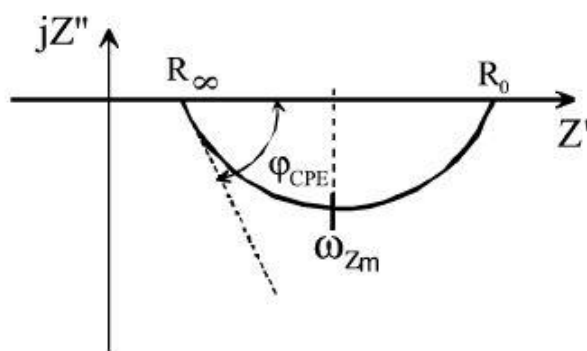
$$Y = G_0 + \frac{1}{R_{var} + R_1(j\omega\tau_Y)^{-\alpha}} \quad (8)$$

Obr. 2.5 ukazuje nejvhodnější ekvivalentní obvod.



Obr. 2.5: Všeobecný ekvivalentní obvod pro rovnici (8) s volným konduktančním/rezistenčním parametrem a závislým τ parametrem. (a) impedanční verze, (b) admitanční verze.

K analýze rovnice (8) použijeme její impedanční verzi. Komplexní admitance prvku CPE je $Y_{CPE} = G_1(j\omega\tau_Z)^{\alpha}$. Pokud je rovnice (8) zobrazena v komplexní rovině (obr. 2.6), (úhlová) frekvence odpovídající vrcholu oblouku je charakteristická frekvence.



Obr 2.6: Volný konduktanční model, příklad Z-diagramu. Tři parametry (R_0 , R_{ω} , ϕ_{CPE}) určují tvar kruhového oblouku. Dva další parametry dohromady s ω^{α} určují frekvenční škálu podél oblouku; pro impedanční verzi rovnice (8) to je výraz $G_1\tau_Z^{\alpha}$.

Z obr. 2.6 vidíme, že hodnota reálné složky impedance odpovídající charakteristické frekvenci je rovna $Z' = R_\infty + \frac{1}{2}(R_0 - R_\infty)$. Pokud tento výraz dosadíme do rovnice (8), měřená charakteristická frekvence na vrcholu oblouku ω_{Zm} a měřený relaxační čas τ_{Zm} jsou

$$\tau_{Zm} = \frac{1}{\omega_{Zm}} = \tau_Z \left(\frac{G_1}{G_{var}} \right)^{1/\alpha} \quad (9)$$

Charakteristická frekvence odpovídající $1/\tau_Z$ je ω_Z . Parametr τ_Z v (8) odpovídá vrcholu oblouku, pouze pokud platí $G_1 = G_{var}$: potom $\omega_{Zm} = \omega_Z = 1/\tau_Z$ a toto je případ Coleova modelu. Nicméně pokud platí že $G_1 \neq G_{var}$, τ_Z už vrcholu oblouku neodpovídá a ω_Z je pouze nominální charakteristickou frekvencí. Nová časová konstanta τ_{Zm} daná v rovnici (9) ukazuje, že změna G_{var} nyní ovlivňuje časovou konstantu v souladu s relaxační teorií: vyšší hodnota G_{var} znamená kratší časovou konstantu τ_{Zm} . Pravá časová konstanta $\tau_{Zm} = 1/\omega_{Zm}$ se neobjevuje v rovnici (8), ale v rovnici (9). Z (9) vyplývá, že ω_{Zm} je přechodná frekvence, při které admitance CPE $Y_{CPE} = G_1(\omega\tau_Z)^\alpha$ je rovna G_{var} .

2.3.1 Určení impedance v modelu volné konduktivity

Určení parametrů v modelu volné konduktivity vychází z určení parametrů v Coleově modelu, ale je složitější. Rovnice (8) má pět daných parametrů, pro impedanční verzi to jsou: R_∞ , G_{var} , G_1 , τ_Z a α . Tyto parametry jsou nezávislé, τ_{Zm} v (9) je odvozený, závislý, ale měřený parametr. Geometrie grafického vyjádření rovnice (8) je dáno třemi parametry: R_∞ , G_{var} a α . Toto je ilustrováno na obr. 2.6 s $R_0 = 1/G_{var} + R_\infty$ a $\varphi_{CPE} = \alpha \cdot 90^\circ$. Dva další parametry společně s ω^α definují frekvenční škálu podél daného oblouku: G_1 a τ_Z . Pravý relaxační čas τ_{Zm} je určen podle rovnice (9).

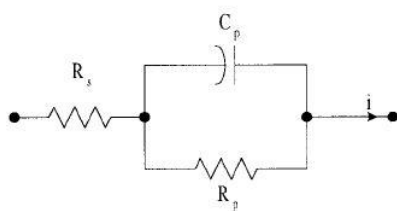
Určení všech pěti parametrů v rovnici (8) z naměřených dat není možné. Kruhový oblouk především odpovídá datům z Wesselova diagramu. Tři geometrické parametry R_∞ , G_{var} a α jsou určeny z geometrie oblouku. Pro frekvenční škálu na oblouku je rovnice (9) pozměněna

$$G_1 \tau_Z^\alpha = \frac{G_{var}}{\tau_{Zm}^\alpha} \quad (10)$$

Nominální časová konstanta τ_Z není pravou charakteristickou časovou konstantou určenou měřením. V praxi je rovnice (10) používána ke zjištění τ_{Zm} s danou hodnotou τ_Z . Rovnice (10) se používá k určení hodnot G_1 s fixní nominální hodnotou τ_Z .

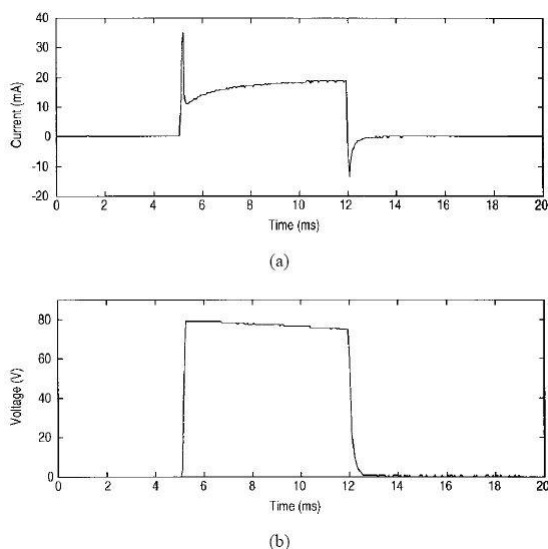
2.4 Model pro impedanci lidské kůže v průběhu povrchové funkční neuromuskulární stimulace vytvořený Stephenem J. Dorganem a Richard B. Reillym

Tento model částečně popisuje impedanci lidské kůže během povrchové funkční neuromuskulární stimulace obdélníkovými stimulačními pulzy. Přestože je neadekvátní, byl jako výchozí bod použit tříprvkový model (obr. 2.7). Obr. 2.8 ukazuje průběh proudu kompletním systémem, když na něj působil 80 V napětím kontrolovaný pulz s délkou trvání 6,8 ms. Rezistance R_S na obr. 2.7 může být určena během stimulace s konstantním napětím jako podíl aplikovaného napětí a špičky v průběhu proudu, kdy má kondenzátor velmi nízký odpor. Obdobně na konci stimulačního pulzu dostatečné šířky stejným výpočtem získáme hodnotu pro $R_S + R_P$, kdy je kondenzátor plně nabitý. To umožňuje určení R_P . Předchozí experimentální důkaz ukázal, že pro neupravenou pokožku hodnota R_S , která modeluje rezistanci vnitřní tkáně je nezávislá na stimulačním napětí, zatímco existuje inverzní vztah mezi R_P a stimulačním napětím. Jak je možno vidět na obr. 2, kdy po prvotním poklesu přijde obnovený vzestup proudu.



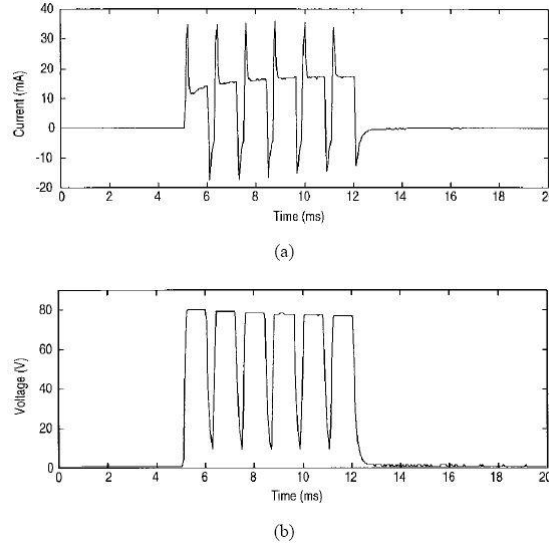
Obr. 2.7: Předchozí ekvivalentní obvod pro modelování impedance lidské kůže a hluboké tkáně.

Obecný obvod s R_S primárně modelujícím rezistanci hlubokých tkání, zatímco kondenzátor C_P a lineární rezistor R_P modelují impedanci kůže.



Obr. 2.8: (a) Proud procházející kůží jako odezva na (b) konstantní stimulační pulz napětí.

Obr. 2.9 ukazuje odezvu kůže na skupinu šesti kratších pulzů, každý o délce 1 ms. Tento výsledek experimentu ukazuje na přítomnost paměťového prvku ve zvažované impedanci. Během odezvy na jeden napětím kontrolovaný pulz jako na obr. 2.8, může být modelován jednoduchým spojením rezistoru a kondenzátoru tak jako na obr. 2.7 zavedením induktivního prvku. Ty se ale v lidském těle nenacházejí, a pokud má model odrážet fyziologickou realitu tak by je neměl obsahovat také.



Obr. 2.9: (a) Proud procházející kůží jako odezva na (b) sérii konstantních stimulačních pulzů napětí.

Model navrhovaný pro kožní stejnosměrnou impedanci je ukázán na obr. 2.10. Skládá se s paralelního uspořádání konstantního lineárního kondenzátoru C_p s nelineárním časově závislým rezistorem R_p , které je v sérii s konstantním lineárním rezistorem R_s . Modelování paměťové složky impedance demonstrované na obr. 2.9, je dosaženo využitím rovnice k charakterizování R_p . Tyto rovnice jsou

$$R_p = 1/g_p \quad (11)$$

$$g_p = \frac{1}{\tau_g} (g_{p\infty} - g_p) + g_x \quad (12)$$

$$\frac{1}{\tau_g} = \beta_g + \alpha_g (c_1 - \beta_g) \quad (13)$$

$$g_{p\infty} = \frac{g_{qp(i)} \cdot g_{pk}}{g_{pk} - g_{qp(i)}} \quad (14)$$

$$g_{qp(i)} = \lambda_1 + \lambda_2 \cdot (1 - e^{\lambda_3 i}) \quad (15)$$

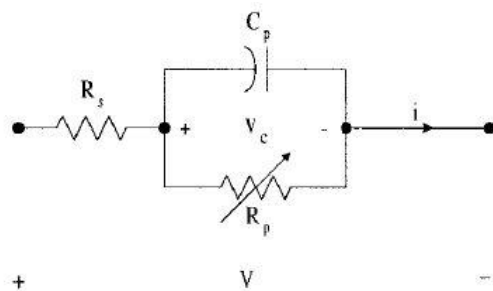
$$g_x = \frac{1}{\tau_x} (g_{ch} + g_i i - q) \quad (16)$$

Kde g_p a g_s jsou konduktance rezistoru R_p a R_s . $g_{p\infty}$ je konduktance kvazi-ustáleného stavu a funkce injektovaného proudu i . Injektovaný náboj je q , zatímco q_x modeluje časově a nábojem řízenou proměnnou konduktance g_p z konstantní hodnoty g_{ch} . Proměnná g_{qp} s injektovaným proudem je ukázána na obr. 2.10, jako funkce $g_{qp}(i)$ používá Levenberg-Marquardtovu metodu nejmenších čtverců. Veličiny α_g a β_g v (3) určují nelineární proud záviselý dynamicky na konduktanci g_p a jsou

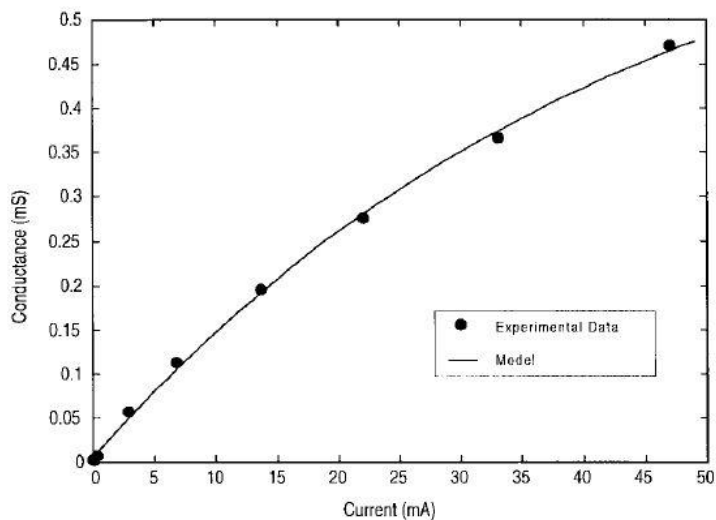
$$\alpha_g = c_2 \cdot (1 - e^{c_3(v+vr)}) \quad (17)$$

$$\beta_g = \frac{c_4}{e^{c_5(v+vr+c_6)+1}} \quad (18)$$

zatímco v je napětí podél elektrod a v_r modeluje poloviční buněčné (nebo kontaktní) potenciály které se vyskytují na povrchu rozhraní. Pro stimulaci konstantním proudem je systém modelu přesně ten stejný, jediný rozdíl je, že proud i tvoří vstup modelu a napětí v se stane počítanou veličinou.



Obr. 2.9: Zde navržený model impedance kůže. Rezistance R_s modeluje konstantní rezistanci součástí kůže a rezistanci hluboké tkáně. Proměnlivý rezistor R_p s kondenzátorem C_p slouží k modelaci všech nelineárních proměnných impedance kůže.



Obr. 2.10: Kolísání konduktance g_{qp} určené v experimentu a funkce $g_{qp}(i)$ stanovená aby odpovídala kritériu nejmenších čtverců.

3. Příprava měření a měření signálů generovaných přístroji DiaDENS

Cílem této kapitoly je blíže se seznámit s elektrickými signály, se kterými přístroj pracuje, kdy jak tvar a velikost těchto signálů závisí na v přístroji obsluhou přednastavených parametrech. Před samotným měřením bylo ještě potřebné zjistit a vytvořit model impedance lidské tkáně, který by sloužil jako zátěž pro přístroje.

3.1 Měření impedance lidské tkáně pro náhradní model

Impedance lidské tkáně závisí na mnoha faktorech a i u konkrétního jedince se výrazně liší v čase. Aby bylo možno provést exaktní a reprodukovatelné měření výstupních signálů přístrojů DiaDENS, bylo třeba vytvořit elektrický model impedance lidské tkáně, jehož parametry by na rozdíl od reálné lidské tkáně byly v čase konstantní. Prvním krokem k vytvoření tohoto modelu bylo naměření hodnot impedance reálné lidské tkáně, ze kterých model vychází.

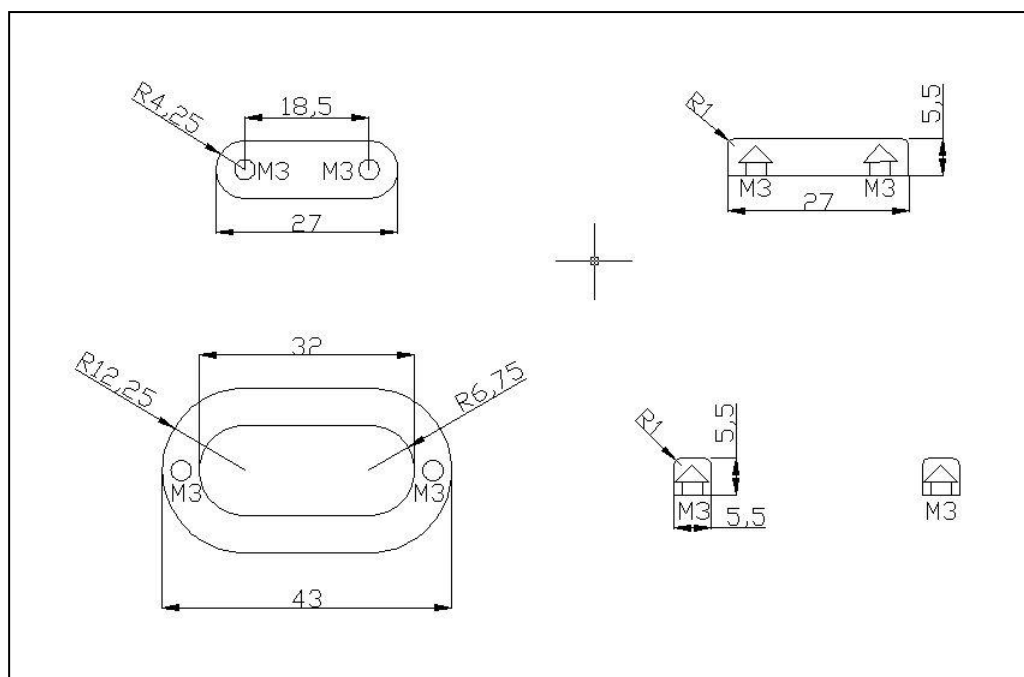
3.1.1 Výroba elektrod

Jedním z faktorů ovlivňujících naměřené hodnoty impedance lidské tkáně jsou tvar a velikost použitých elektrod. Bylo tedy třeba vyrobit elektrody, jejichž tvar a velikost by byly stejné jako u přístroje DiaDENS.



Obr. 3.1: Elektrody na přístroji DiaDENS

Rozměry elektrod přístroje byly určeny posuvným měřítkem. Podle naměřených hodnot jsem vytvořil výkres elektrod a podle něj byly elektrody vyrobeny. Jako materiál pro výrobu elektrody byla zvolena nerezavějící ocel.



Obr. 3.2: výkres elektrod

Dalším krokem bylo zalití elektrod epoxidovou pryskyřicí. Elektrody byly očištěny od mastnoty a do závitů byl nanesen silikonový olej, aby se v nich epoxid nezachytil. Poté byly elektrody pomocí šroubků přichyceny k plastové destičce a do prostoru mezi elektrodami byl nalit epoxid. Po vytvrzení byla destička odstraněna a elektrody byly očištěny od přebytečných zbytků.

3.1.2 Měření impedance lidské tkáně

Měření impedance lidské tkáně probíhalo na přístroji Bio-Logic SA VSP. Měřeným objektem byl autor práce. Elektroda byla připevněna fixační textilní náplastí na vnější část levé paže. Pokožka nebyla před měřením nijak ošetřována.

Aby byl prozkoumán i vliv signálů z přístroje DiaDENS na impedance lidské tkáně, nechal jsem přístroj na měřené místo přes vyrobenou elektrodu působit, a to před druhým měřením pod dobu 1 minuty, před třetím 2 minuty, čtvrtým 4, pátým 8 a šestým 16 minut.

Pro měření byl na přístroji zvolen režim PEIS (Potentiostatic Impedance Scan), při kterém je přiveden měřicí sinusový signál okolo nastaveného potenciálu E.

Parametry měření byly nastaveny takto:

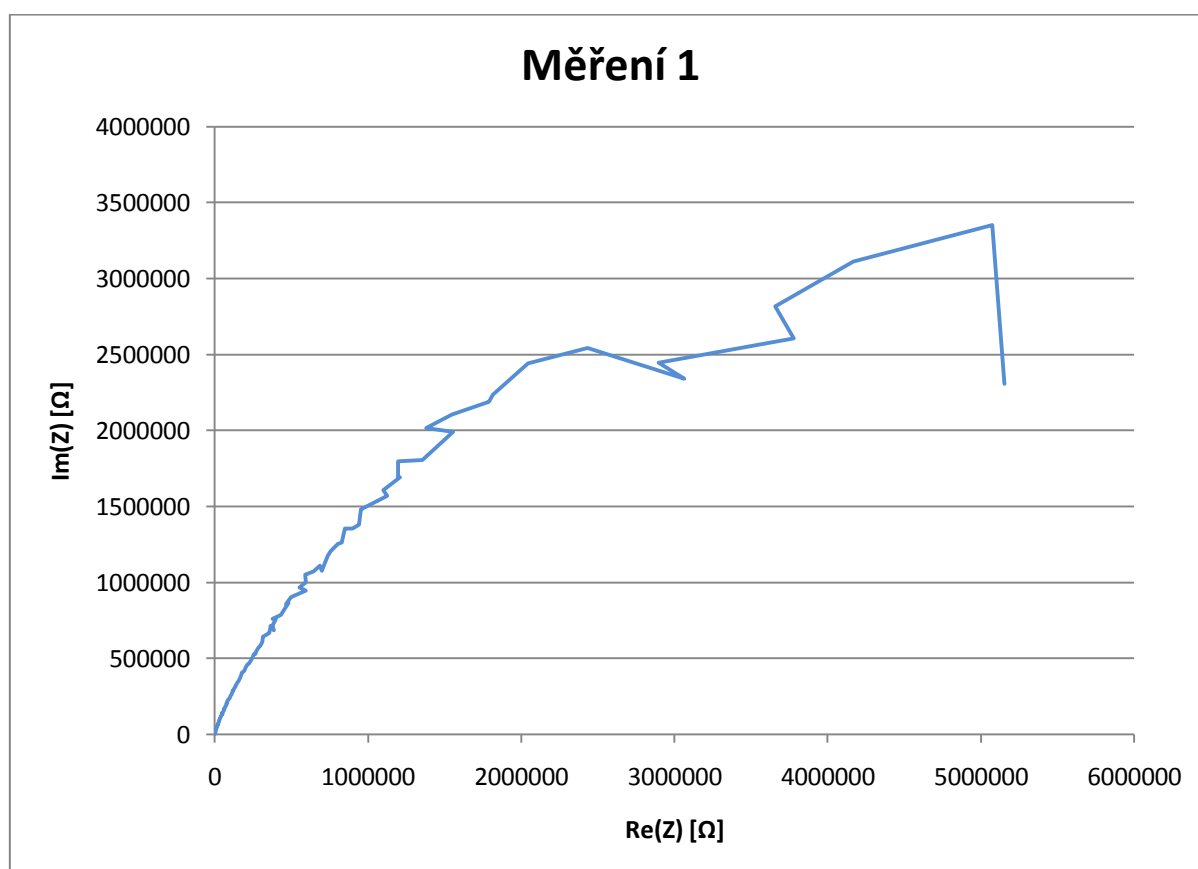
- Multisinový mód (umožňuje měřit impedanci na více frekvencích najednou)
- Potenciál $E = 0$ V
- Počáteční frekvence $f_i = 100$ mHz
- Koncová frekvence $f_f = 100$ kHz
- Skenováno 50 bodů na dekádu
- Amplituda měřicího signálu $V_a = 10$ mV
- Každá výsledná hodnota je průměrem deseti naměřených hodnot

Výsledky měření:

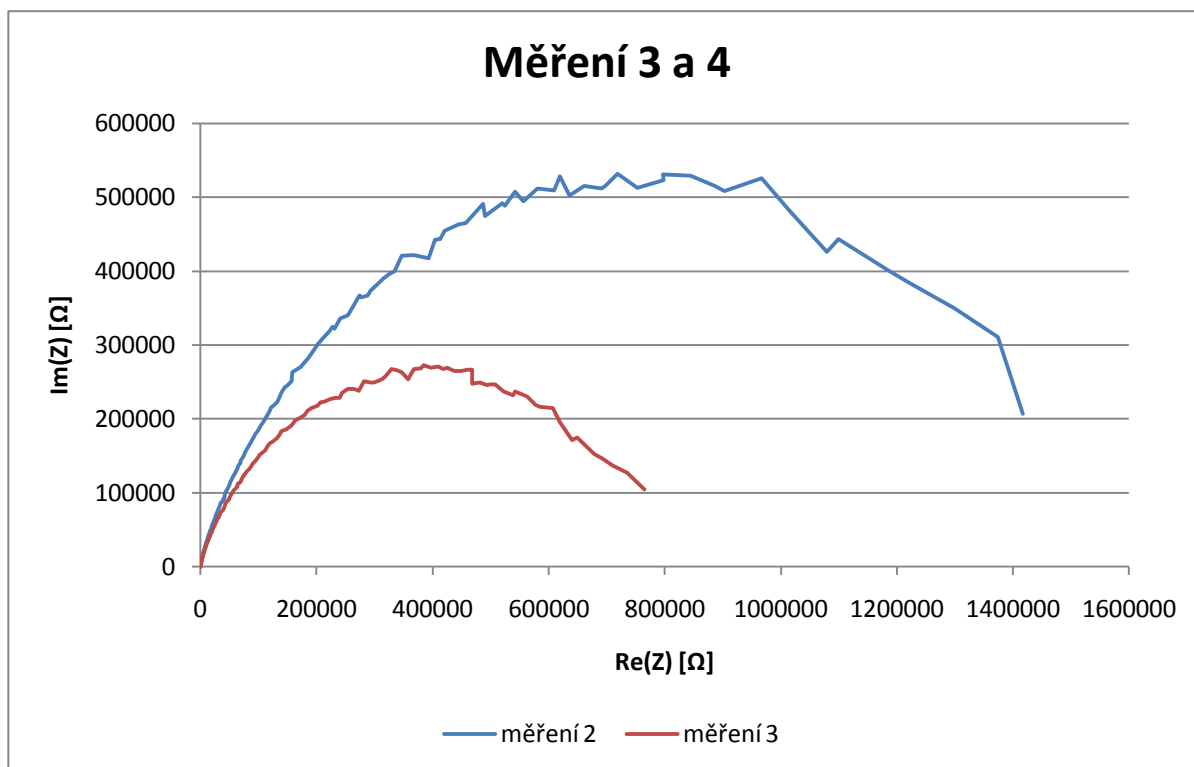
Výsledkem všech šesti měření byly Cole-Coleovy diagramy, které s výjimkou nízkých frekvencí měly tvar části oblouku.

Z naměřených hodnot vyplývá, že vlivem signálu z přístroje DiaDENS impedance lidské tkáně klesá a to úměrně době jeho působení. Při frekvenci 77,7 Hz, byl naměřený modul impedance po jedné minutě působení přístroje DiaDENS 67,5% původní hodnoty, po dvou minutách 60,0 %, po čtyřech minutách 54,1%, po osmi minutách 49,3% a po šestnácti minutách 50,1%. Naměřené hodnoty, pro všechna měření jsou uvedeny v příloze.

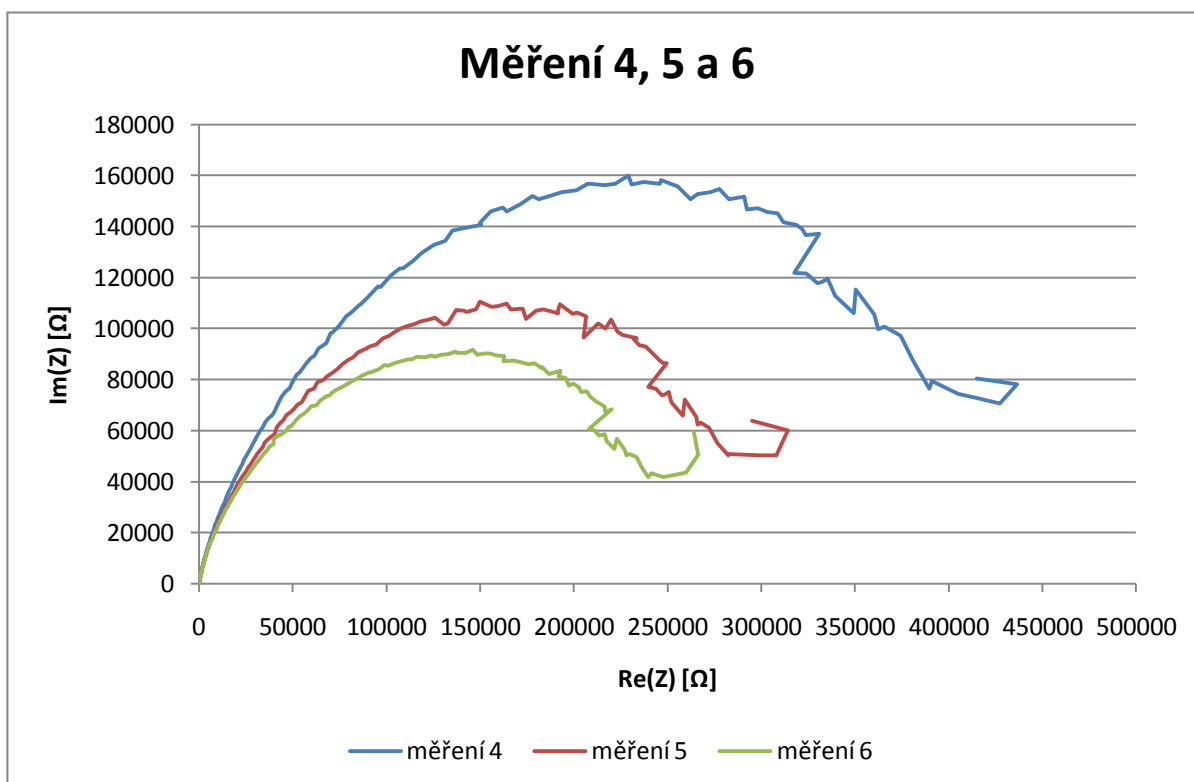
Dále uvádím Cole-Coleovy diagramy pro všech šest měření.



Obr. 3.3: Cole-Coleův diagram pro 1. měření (bez působení přístroje DiaDENS)



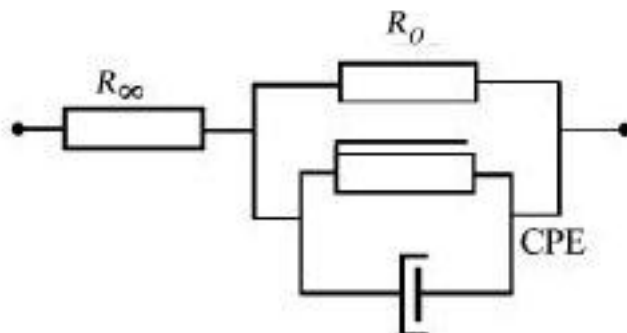
Obr. 3.4: Cole-Coleův diagram pro 3. (1 minuta) a 4. (2 minuty působení přístrojem DiaDENS)



Obr. 3.5: Cole-Coleův diagram pro 4. (4 minuty), 5. (8 minut) a 6. měření (16 minut působení přístrojem DiaDENS)

3.2 Výroba náhradního elektrického modelu impedance lidské tkáně

Jako výchozí schéma pro model impedance lidské tkáně bylo zvoleno schéma pro Coleův model, popřípadě pro model volné konduktance (kapitoly 2.2 a 2.3), které je pro oba modely stejné. Schéma se skládá ze dvou rezistorů a jednoho prvku s konstantní fází.



Obr. 3.6: Zvolené náhradní schéma pro model impedance lidské tkáně

3.2.1 Získání parametrů prvků náhradního schématu

Jako vstupní data pro vytvoření modelu impedance tkáně posloužily hodnoty z prvního měření, tedy ty, které byly naměřeny před působením impulzů z přístroje DiaDENS na měřenou tkáň.

Hodnoty prvků ekvivalentního obvodu byly získány pomocí programu EC-Lab.

Zvolené parametry fitování byly:

- Metoda Randomize + Simplex
- Z bodu 7: $x = 2,433 \text{ M}\Omega$, $y = 2,541 \text{ M}\Omega$
- Do bodu 253: $x = 174 \text{ }\Omega$, $y = 237,4 \text{ }\Omega$
- Zastavit Randomize po: 50 000 operacích
- Zastavit fitování po: 10 000 operacích

Získané hodnoty prvků náhradního obvodu byly:

- $R_\infty = 122,1 \text{ }\Omega$
- $R_0 = 4,826 \text{ M}\Omega$
- $\psi = 18,79 \text{ M}\Omega \cdot \text{s}^{-\alpha}$, $\alpha = -0,8454$

Hodnoty modulu impedance náhradního schématu a fáze byly porovnány s hodnotami z měření 1. Při nízkých frekvencích (do 1,5 Hz) byly relativní chyby poměrně vysoké, od 1,5 Hz, však nepřekračovaly 10% u modulu impedance a $6,11^\circ$ (což je nejvíce 10,1% procent pro frekvenci 6,10 Hz) u fáze. Konkrétní údaje jsou uvedeny v příloze.

3.2.2 Tvorba prvku s konstantní fází podle návodu vytvořeného prof. Ing. Jurajem Valsou, CSc.

Prvek s konstantní fází, je teoretická součástka, která se často používá k modelaci chování lidské tkáně. Je na ní posunut proud oproti napětí o stále stejnou fází. Její vlastnosti jsou určeny dvěma parametry: modulem Ψ a hodnotou α , pro kterou platí: $\varphi = \alpha \cdot 90^\circ$, pokud je fáze φ ve stupních.

Součástka, která by splňovala kritérium konstantní fáze na neomezeném frekvenčním rozsahu, ve skutečnosti nemůže existovat, je ale možné vytvořit obvod, který toto kritérium s určitou odchylkou bude splňovat na určitém omezeném frekvenčním rozsahu. Při návrhu modelu impedance lidské tkáně byl prvek s konstantní fází vytvořen pomocí RC modelu, navrženého prof. Valsou.

Jelikož postup návrhu RC modelu nevychází z hodnoty modulu Ψ , ale ten je spočítán až na závěr návrhu, byl výpočet proveden nejdříve obecně v programu MS Excel a následně byla upravována hodnota R_1 dokud výsledný modul neodpovídal požadované hodnotě.

Protože náhradní obvod modelu lidské tkáně odpovídal naměřeným hodnotám při rozsahu 1,5 Hz – 100 kHz, byly i tyto hodnoty zvoleny pro mezní frekvence modelu prvku s konstantní fází.

Postup výpočtu:

Vstupní hodnoty výpočtu jsou:

$$\omega_{\min} = 2\pi \cdot f_{\min} = 2 \cdot 3,14159 \cdot 1,5 = 9,425 \text{ s}^{-1}$$

$$\omega_{\max} = 2\pi \cdot f_{\max} = 2 \cdot 3,14159 \cdot 100000 = 628300 \text{ s}^{-1}$$

$$\varphi = \alpha \cdot 90^\circ = 76,1^\circ$$

$$\Delta\varphi = 1^\circ \text{ (velikost zvlnění)}$$

Pro časovou konstantu první větve přibližně platí:

$$R_1 C_1 = \frac{1}{\omega_{\min}}$$

Aby měl prvek s konstantní fází požadovaný modul, zvolil jsem $R_1 = 9,23 \text{ M}\Omega$. C_1 jsem potom vypočetl z výše uvedeného vztahu

$$C_1 = \frac{1}{R_1 \cdot \omega_{\min}} = \frac{1}{9,23 \cdot 10^6 \cdot 9,425} = 11,50 \text{ nF}$$

Potom jsem vypočetl pomocné parametry a a b

$$\log(ab) = -0,5 - \sqrt{0,25 - 0,1724(1,45 - \Delta\varphi)} =$$

$$-0,5 - \sqrt{0,25 - 0,1724(1,45 - 1)} = -0,91523$$

$$ab = 10^{\log(ab)} = 10^{-0,91523} = 0,12155$$

Dále

$$\log a = \varphi \frac{\log(ab)}{90} = 76,1 \cdot \frac{-0,91523}{90} = -0,77286$$

$$a = 10^{\log a} = 10^{-0,77286} = 0,16871$$

$$b = \frac{ab}{a} = \frac{0,12155}{0,16871} = 0,72050$$

Podle ω_{\max} a součinu ab jsem určil potřebný počet sekcí

$$m = 1 - \frac{\log\left(\frac{\omega_{\max}}{\omega_{\min}}\right)}{\log(ab)} = 1 - \frac{\log\left(\frac{628320}{9,4248}\right)}{-0,91523} = 6,27071 \doteq 6$$

Hodnoty prvků sériových větví se určí z rovnic

$$R_k = R_1 a^{k-1}, \quad C_k = C_1 b^{k-1}, \quad k = 1, 2, \dots, m$$

Vypočtené hodnoty prvků jsou:

| k | R_k [kΩ] | C_k [nF] |
|-----|------------|------------|
| 1 | 9230 | 11,50 |
| 2 | 1557 | 8,282 |
| 3 | 262,7 | 5,967 |
| 4 | 44,32 | 4,300 |
| 5 | 7,477 | 3,098 |
| 6 | 1,261 | 2,232 |

Dále se určí hodnoty pomocných prvků

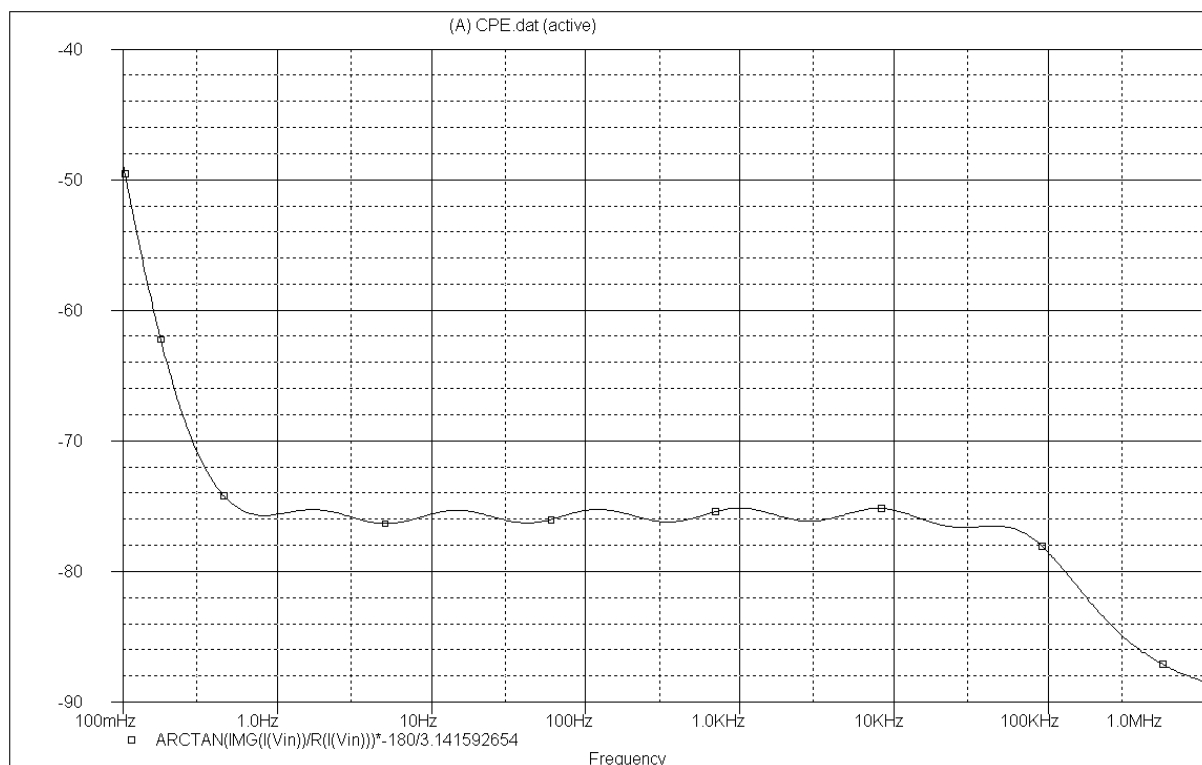
$$R_p = R_1 \frac{1-a}{a} = 9,23 \cdot 10^6 \frac{1-0,16871}{0,16871} = 45,48 \text{ M}\Omega$$

$$C_p = C_1 \frac{b^m}{1-b} = 11,50 \cdot 10^{-9} \frac{0,72050^6}{1-0,72050} = 5,753 \text{ nF}$$

Modul Ψ se pak určí z rovnice

$$\Psi = \frac{Re(Z(j\omega_{str}))}{\omega_{str}^\alpha \cos\varphi} = 18,78 \text{ M}\Omega \cdot s^\alpha$$

Po vypočtení hodnot součástí pro prvek s konstantní fází byla provedena jeho simulace v programu PSpice.

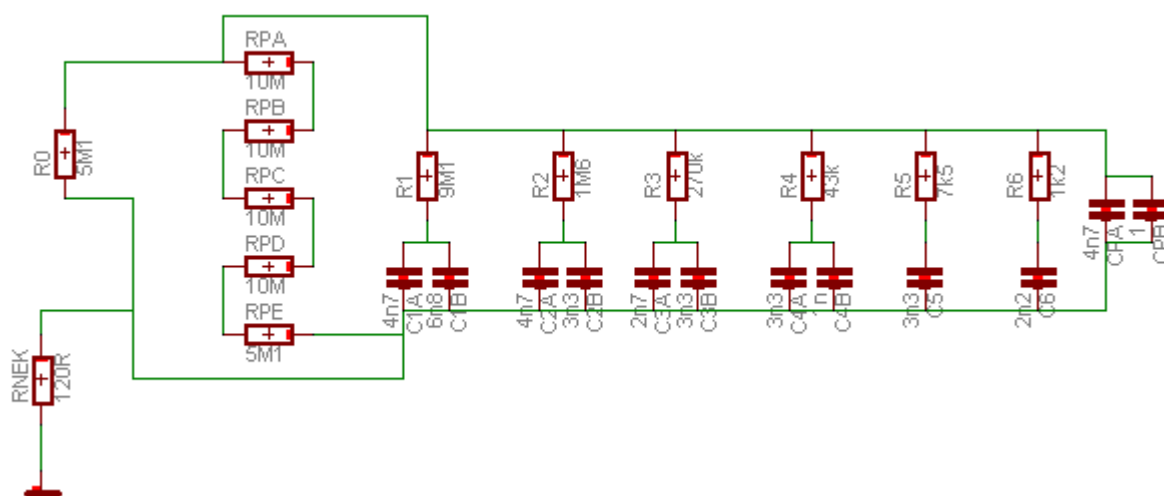


Obr. 3.7: Výsledek simulace v programu PSpice – fáze na prvku s konstantní fází

3.2.3 Realizace modelu impedance lidské tkáně

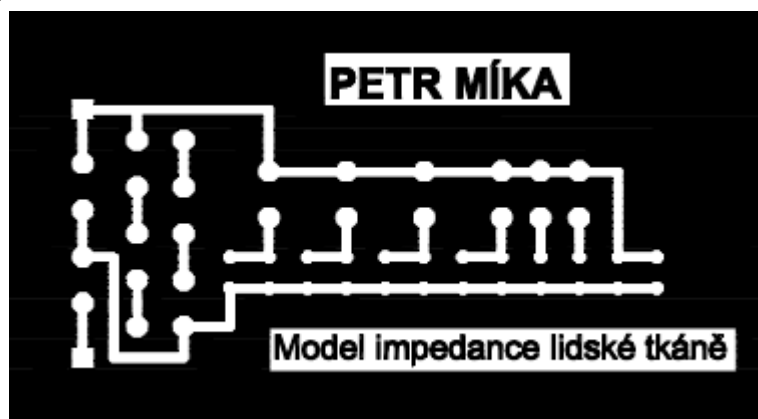
Podle schématu zvoleného modelu impedance a schématu RC modelu prvku s konstantní fází, bylo v programu Eagle vytvořeno schéma pro model impedance lidské tkáně.

Jelikož nebyly dostupné kondenzátory s dostatečně blízkými hodnotami, hodnotám vypočteným, bylo třeba pro kapacity C_1 až C_4 použít paralelní kombinaci dvou kondenzátorů. Protože rezistorem s nejvyšší dostupnou hodnotou odporu je 10 M Ω musel být odpor R_p vytvořen sériovou kombinací pěti rezistorů.



Obr. 3.8: Schéma modelu impedance lidské tkáně

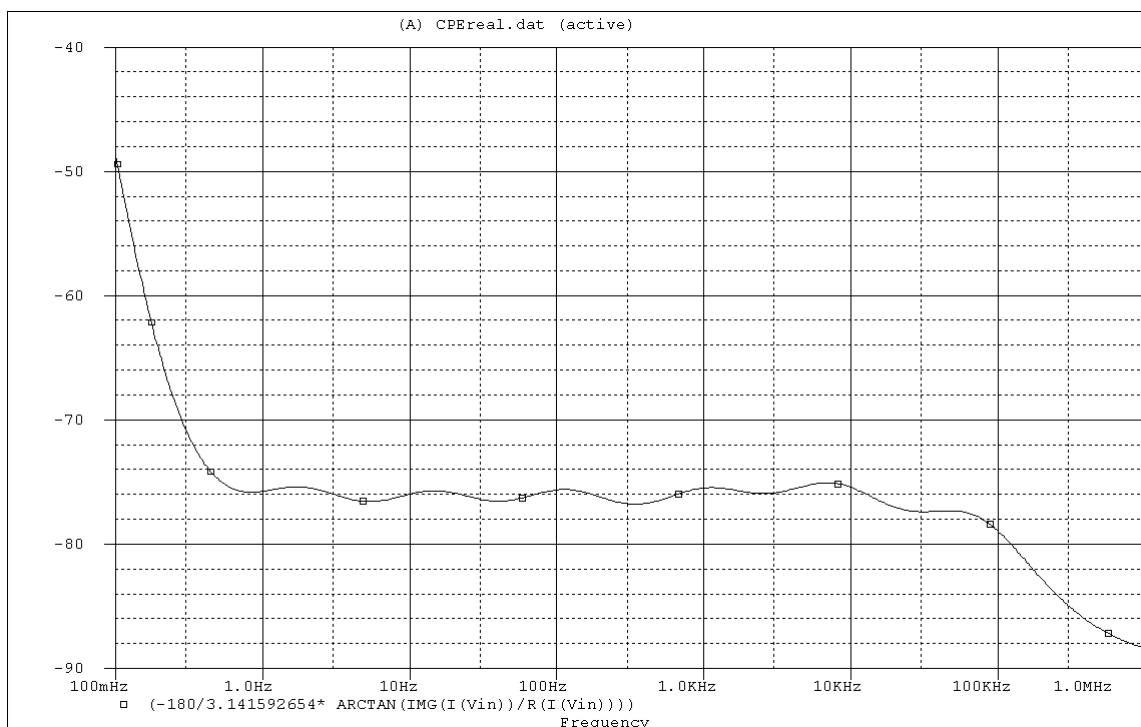
V programu Eagle byl vytvořen i motiv vodivých cest pro desku, na které byl model realizován. Po vyrobení desky s vodivým motivem, byly vyvrtány otvory pro vývody součástek a deska byla osazena.



Obr. 3.9: Motiv vodivých cest pro výrobu DPS

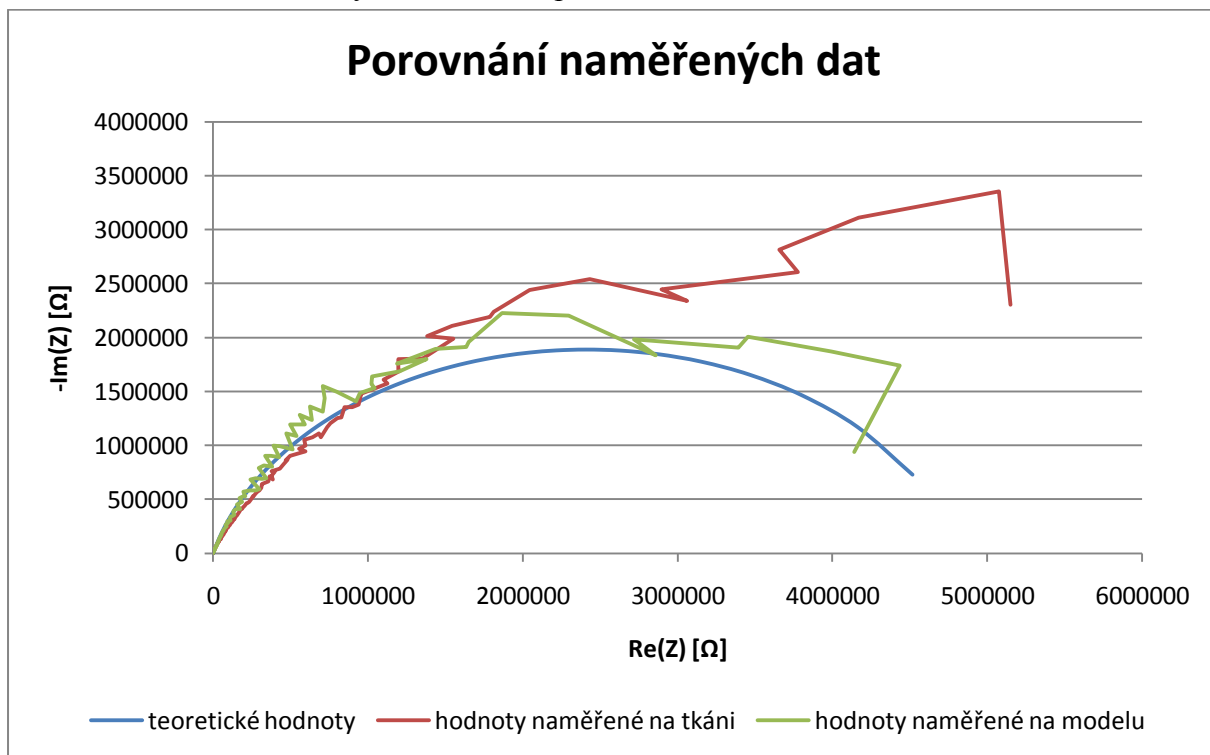
Tab. 3.1: Vypočítané a použité hodnoty součástek pro model impedance lidské tkáně

| Součástka | Vyp. hodnota [kΩ] | Použ. hodnota | Součástka | Vyp. hodnota [nF] | Použ. hodnota [nF] |
|----------------|-------------------|---------------|----------------|-------------------|--------------------|
| R ₁ | 9230 | 9M1 | C ₁ | 11,50 | 6,8 + 4,7 = 11,5 |
| R ₂ | 1557 | 1M6 | C ₂ | 8,282 | 4,7 + 3,3 = 8,0 |
| R ₃ | 262,7 | 270k | C ₃ | 5,967 | 3,3 + 2,7 = 6,0 |
| R ₄ | 44,32 | 43k | C ₄ | 4,300 | 3,3 + 1,0 = 4,3 |
| R ₅ | 7,477 | 7k5 | C ₅ | 3,098 | 3,3 |
| R ₆ | 1,261 | 1k2 | C ₆ | 2,232 | 2,2 |
| R _p | 45480 | 4·10M+5M1 | C _p | 5,753 | 4,7 + 1,0 = 5,7 |

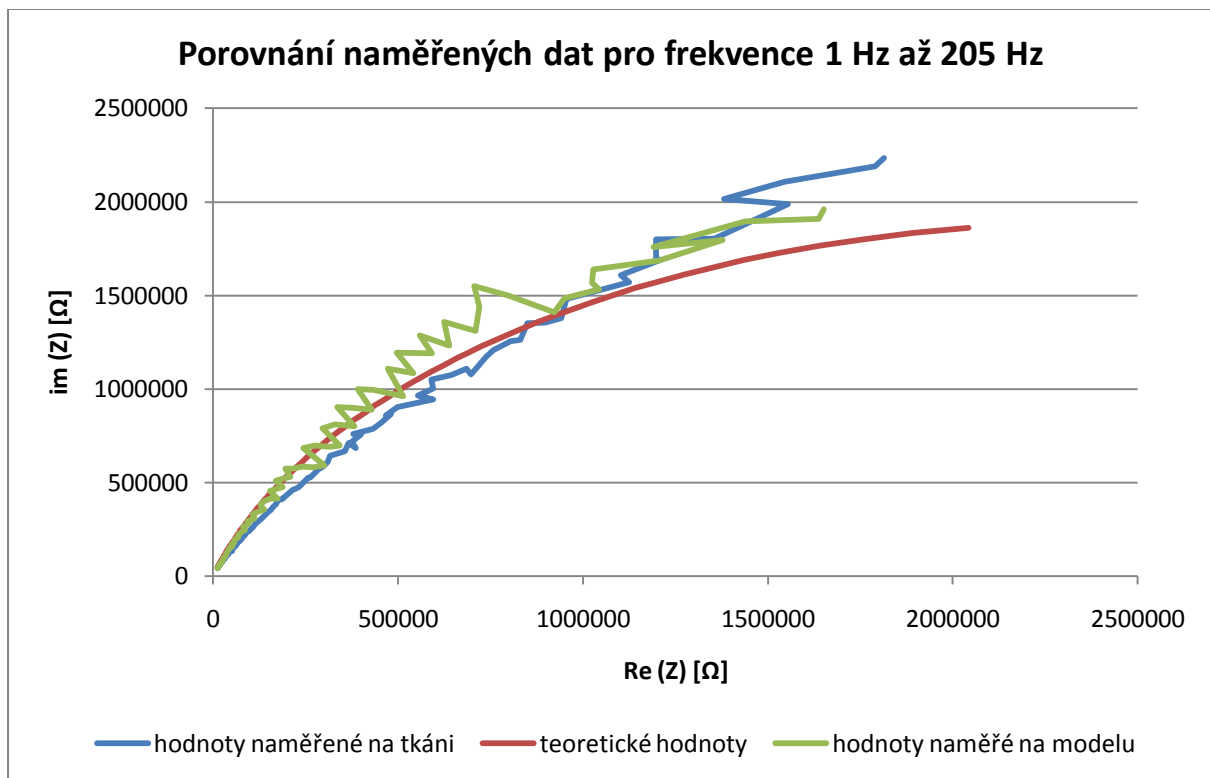


Obr. 3.10: Výsledek simulace v programu PSpice – fáze na prvku s konstantní fází s hodnotami použitých součástek

Na závěr byl změřen na přístroji Bio-Logic SA VSP Cole-Coleův diagram pro tento model impedance lidské tkáně a naměřené hodnoty byly porovnány s hodnotami naměřenými na lidské tkáni a s teoretickými hodnotami pro model



Obr. 3.11: Porovnání naměřených hodnot na tkáni a na modelu s vypočtenými hodnotami pro model

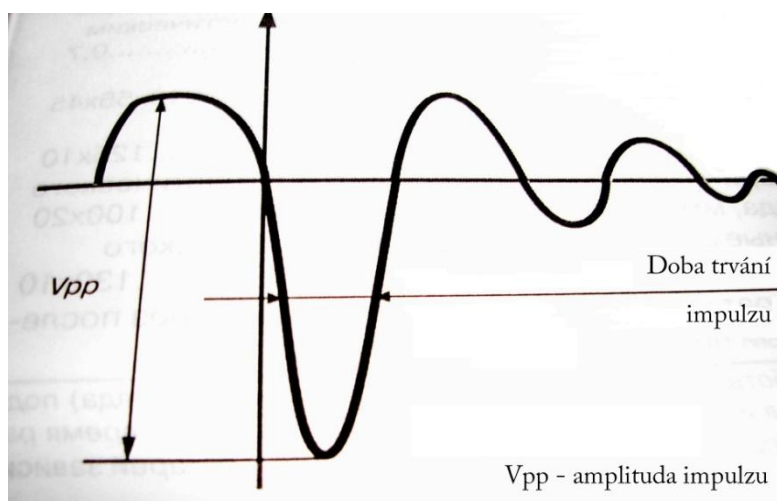


Obr. 3.12: Porovnání naměřených hodnot na tkáni a na modelu s vypočtenými hodnotami pro model pro frekvence 1 Hz až 205 Hz

Pro frekvence mezi 1 Hz a 200 Hz, na kterých přístroj pracuje, dosahovala impedance naměřená na modelu nižších hodnot jak oproti hodnotám naměřeným na tkáni, tak oproti teoretickým hodnotám. Oproti hodnotám naměřeným na tkáni byla největší odchylka modulu impedance 16,9% na frekvenci 37 Hz a největší odchylka fáze 10,4° (což odpovídá 18,2%) na frekvenci 3,05 Hz. Oproti teoretickým hodnotám byly největší odchylky 15,4% na frekvenci 6,38 Hz pro modul impedance a 9,8° (17,5%) na frekvenci 2,2 Hz pro fázi.

3.3 Měření signálů z přístrojů DiaDENS-PK, DiaDENS-PKM a DiaDENS-Cardio

Jak bylo uvedeno v kapitole 1.4, přístroje DiaDENS působí na lidský organizmus pomocí impulzů, jejichž intenzitu a frekvenci může uživatel nastavit. Cílem této kapitoly, protože výrobce nikde neuvádí konkrétní parametry jednotlivých signálů, zjistit, jaký mají impulzy tvar a vlastnosti a jaký vliv na ně mají parametry nastavitelné na přístroji. Výrobce uvádí pouze obecný tvar signálu (obr. 3.13)



Obr. 3.13: Tvar Impulzu generovaného přístroji DiaDENS udávaný v pramenech

Měření probíhalo na osciloskopu Agilent Oscilloscope U2702A.

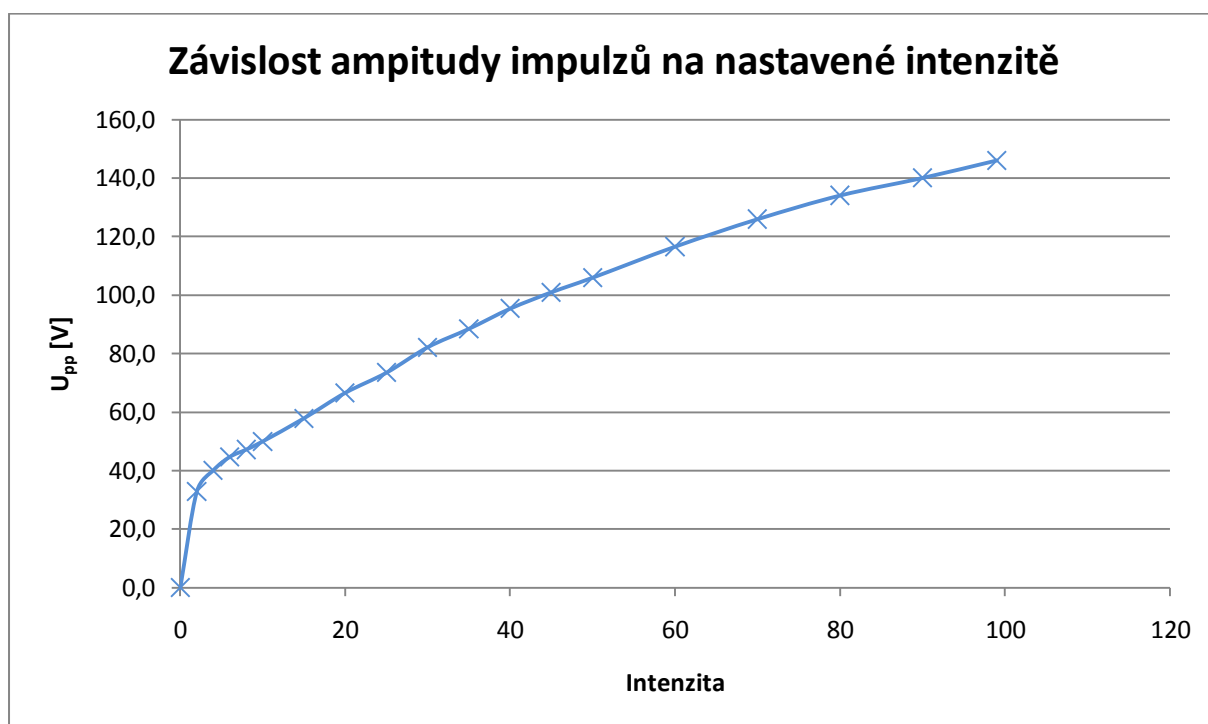
3.3.1 Měření na přístroji DiaDENS-PK

Na přístroji DiaDENS-PK bylo provedeno měření vlivu nastavené intenzity a frekvence na tvar, amplitudu a dobu trvání impulzu pro vybrané úrovně intenzity z celého rozsahu přístroje a pro frekvence, na kterých přístroj pracuje. U_{pp} = hodnota signálu špička-špička.

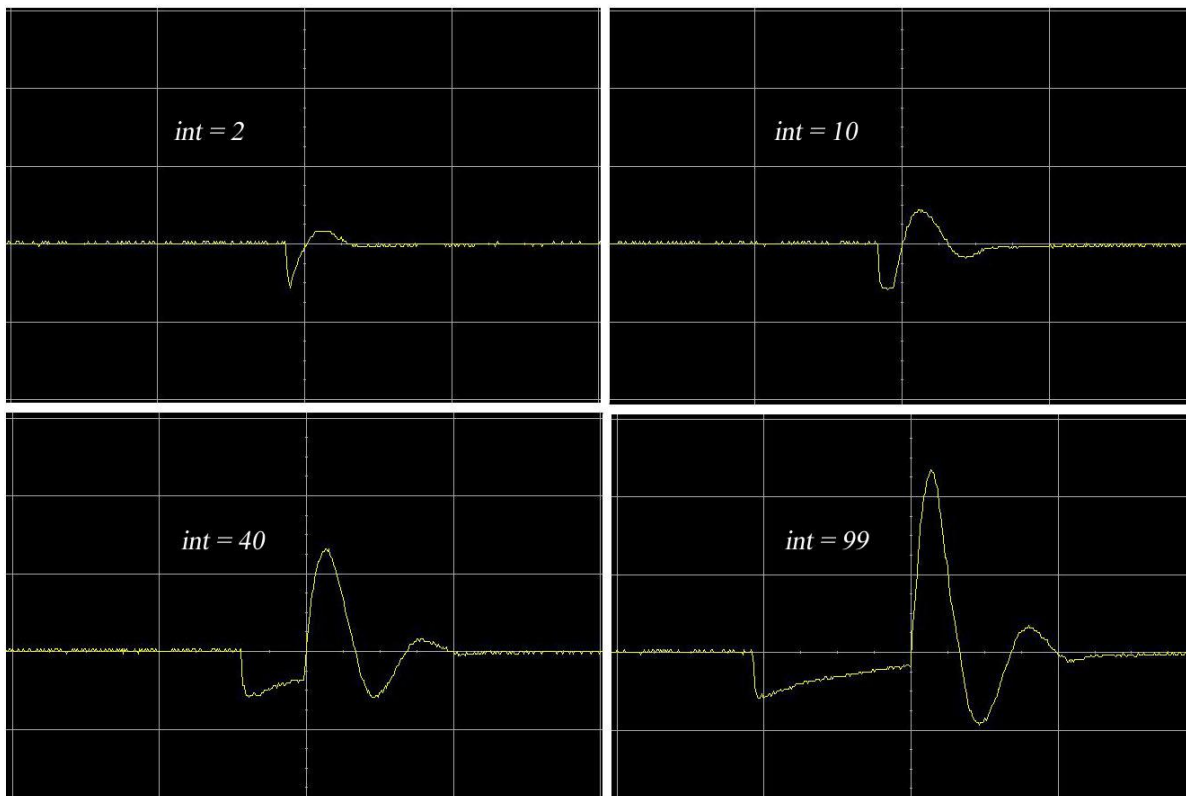
Tab. 3.2: Hodnoty napětí špička-špička signálu generovaného přístrojem DiaDENS-PK naměřené pro různé frekvence a intenzity

| int. | f = 10 Hz | f = 20 Hz | f = 60 Hz | f = 77 Hz | f = 140 Hz | f = 200 Hz | průměrná hodnota[V] | Nejvyšší rel. odchylka [%] |
|------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------------|----------------------------|
| | U_{pp} [V] | U_{pp} [V] | U_{pp} [V] | U_{pp} [V] | U_{pp} [V] | U_{pp} [V] | | |
| 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2 | 33,4 | 33,7 | 32,8 | 32,8 | 32,8 | 33,4 | 33,2 | 1,7 |
| 4 | 40,5 | 40,1 | 39,9 | 40,1 | 40,1 | 39,6 | 40,1 | 1,1 |
| 6 | 43,2 | 44,4 | 43,2 | 44,7 | 44,7 | 43,2 | 43,9 | 1,8 |
| 8 | 46,8 | 47,5 | 47,7 | 47,2 | 50,4 | 46,6 | 47,3 | 1,4 |
| 10 | 50,0 | 50,7 | 50,4 | 50,0 | 50,4 | 50,0 | 50,3 | 0,9 |
| 15 | 57,5 | 58,8 | 58,2 | 57,9 | 58,5 | 58,2 | 58,2 | 1,2 |
| 20 | 66,0 | 66,6 | 66,3 | 66,6 | 66,6 | 65,7 | 66,3 | 0,9 |
| 25 | 73,5 | 75,4 | 74,7 | 73,5 | 74,1 | 75,4 | 74,4 | 1,3 |
| 30 | 81,6 | 81,6 | 82,2 | 82,2 | 81,6 | 81,6 | 81,8 | 0,5 |
| 35 | 87,9 | 87,9 | 89,1 | 88,5 | 88,5 | 87,9 | 88,3 | 0,9 |
| 40 | 94,1 | 94,7 | 96,0 | 95,4 | 94,7 | 94,7 | 94,9 | 1,1 |
| 45 | 100,4 | 99,7 | 101,0 | 101,0 | 100,4 | 101,0 | 100,6 | 0,9 |
| 50 | 106,0 | 105,3 | 106,6 | 106,0 | 106,0 | 105,3 | 105,9 | 0,7 |
| 60 | 116,6 | 116,6 | 118,2 | 116,6 | 118,2 | 116,6 | 117,1 | 0,9 |
| 70 | 126,0 | 124,4 | 127,5 | 126,0 | 126,0 | 126,0 | 126,0 | 1,3 |
| 80 | 132,1 | 132,1 | 134,1 | 134,1 | 134,1 | 132,1 | 133,1 | 0,8 |
| 90 | 138,1 | 138,1 | 140,1 | 140,1 | 140,1 | 138,1 | 139,1 | 0,7 |
| 99 | 145,1 | 145,1 | 146,1 | 146,1 | 145,1 | 145,1 | 145,4 | 0,5 |

Z výsledků měření vyplývá, že nastavená frekvence má na tvar a amplitudu impulzu minimální vliv. Na rozdíl od ní, nastavená intenzita signálu má vliv na tvar i amplitudu signálu. Doba trvání impulzu byla stále konstantní a měla hodnotu $t_i = 156 \mu s$.



Obr. 3.14: Vliv nastavené intenzity na amplitudu impulzů



Obr. 3.15: Impulzy generované přístrojem DiaDENS-PK pro intenzity 2, 10, 40 a 99, při 77 Hz.

Přístroj DiaDENS-PK umožňuje ještě generovat dva modulované signály 77/10 a 77AM. Při signálu 77/10 dochází k pravidelnému střídání signálů o frekvencích 77 Hz a 10 Hz. A to tak, že při frekvenci 77 Hz je vygenerováno 21 impulzů a při frekvenci 10 Hz jsou vygenerovány 3. Při signálu 77AM je signál o frekvenci 77 Hz amplitudově modulován. Z důvodu malého rozlišení použitého osciloskopu při velikosti časové základny, která by umožňovala zobrazit dostatečný počet impulzů na to, aby bylo možno pozorovat amplitudovou modulaci signálu, nebylo možno o tomto signálu zjistit, další podrobnosti.

Dalšími režimy přístroje DiaDENS-PK jsou diagnostické režimy MED a SCREENING. Tyto režimy na pomoci generovaných impulzů zjišťují prostřednictvím změn impedance lidské tkáně zdravotní stav člověka. Byl změřen signál, který je generován při těchto dvou režimech a je u obou stejný. Jedná se o pět impulzů generovaných s frekvencí 10 Hz. Tato sekvence je generována vždy s opakováním 969 ms.

3.3.2 Měření na přístroji DiaDENS-PKM

Přístroj DiaDENS-PKM poskytuje stejné režimy jako přístroj DiaDENS-PK. Umožňuje ale navíc expresní terapii, kdy uživatel pouze vybere druh projekce, nebo potíží, které chce léčit a přístroj tomu přizpůsobí generované impulzy. Potom před začátkem terapie uživatel nastaví pouze požadovanou intenzitu. Cílem provedených měření, bylo zjistit, s jakými

impulzy tento mód pracuje a jak se od sebe navzájem liší signály pro různé projekce, nebo potíže.

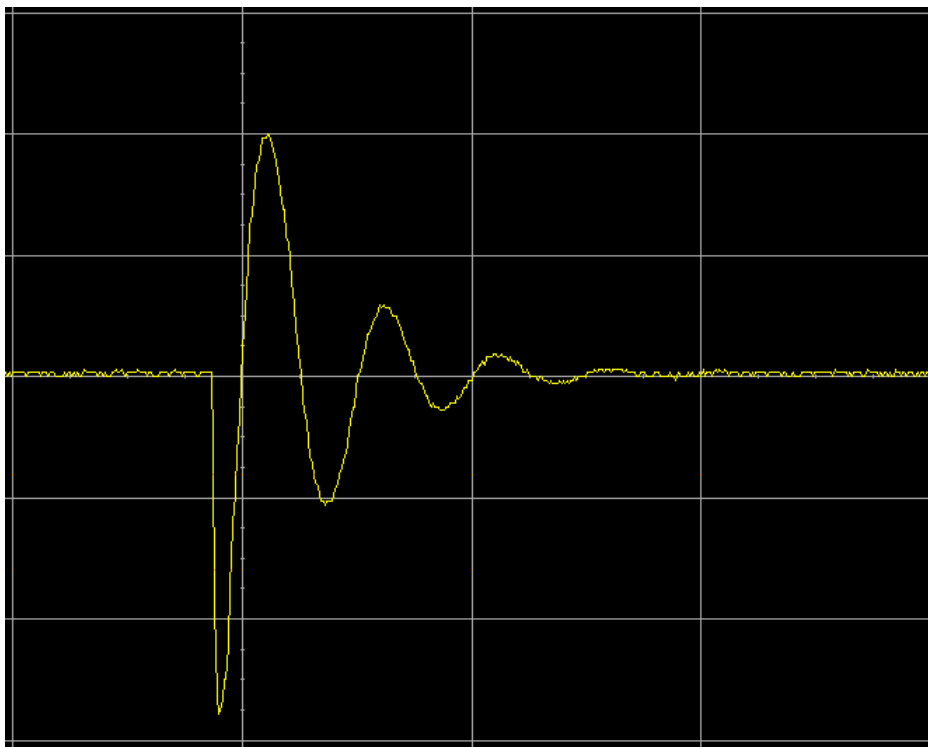
Pomocí měření na osciloskopu Agilent Oscilloscope U2702A bylo zjištěno, že generované impulzy při expresní terapii mají stejný tvar jako impulzy při běžné terapii, liší se od sebe pouze frekvencí, která je zde na rozdíl od běžné terapie pevně daná. Proměřil jsem tedy, jaká frekvence odpovídá kterým potížím.

Tab. 3.3: Naměřené frekvence signálu pro různé druhy projekce a obtíží expresního režimu přístroje DiaDENS-PKM

| Frekvence odpovídající jednotlivým druhům projekce nebo potíží | |
|--|-------------------------|
| Druh projekce/potíží | Naměřená frekvence [Hz] |
| Přímá projekce | 78,0 |
| Segmentová zóna | 10,0 |
| Symetrická zóna | 10,0 |
| Alergie | 3,80 |
| Nemoci žaludku | 9,43 |
| Bolest zad | 9,64 |
| Bolest kloubů | 1,61 |
| Nemoci cév, dystonie | 2,52 |
| Gynekologické bolesti | 9,43 |
| Hypertonie | 9,24 |
| Bolest hlavy | 9,09 |
| Kašel | 9,45 |
| Poruchy menstr. cyklu | 4,03 |
| Urologické problémy | 8,16 |
| Poruchy potence | 9,45 |
| Rýma | 2,92 |
| Úrazy | 2,51 |
| Dušnost | 4,03 |

3.3.3 Měření na přístroji DiaDENS-Cardio

Přístroj DiaDENS-Cardio pracuje pouze se signálem jedné úrovně intenzity a podle výrobce na frekvenci 9,2 Hz, s frekvenčně modulovaným signálem 77/10. Při měření se ukázalo, že tvar impulzu se liší od impulzů generovaných přístroji DiaDENS-PK a DiaDENS-PKM. Naměřená amplituda impulzu je 47,8V. Nejdříve jsou přístrojem generovány impulzy s frekvencí 9,2 Hz (naměřená hodnota je 9,195 Hz), poté následuje frekvenčně modulovaný signál 77/10 (naměřené hodnoty 76,19 Hz a 10 Hz). Doba působení jednotlivých signálů není přesně daná, ale je řízena mikroprocesorem.



Obr. 3.16: Impulz generovaný přístrojem DiaDENS-Cardio

4 Závěr

Dynamická elektroneurostimulace (DENS) je nová metoda nemedikamentózní léčby vycházející z poznatků východní medicíny a vyvíjená v Rusku od 60. let. Odtajněna a uvedena na trh ale byla až v letech 90.

Její principem je dynamické působení na nervová zakončení v určitých bodech a zónách lidské kůže a je založena na existenci tzv. biologické zpětné vazby, tedy že mozek reaguje na příchozí impulzy a jejich následkem ovlivňuje funkci příslušných orgánů. Její působení na ně je tedy nepřímé. K provádění terapie metodou DENS slouží přístroje DiaDENS, které se vyrábějí v několika provedeních. Pomocí různých režimů mohou tyto přístroje, kromě terapie i diagnostikovat lidské zdraví a nemoc nebo poruchu orgánu odhalit i dříve než klasická medicína.

Dynamická elektroneurostimulace se používá k prevenci a léčbě úrazů a nemocí. Mnohdy se používá v kombinaci s metodami klasické medicíny, kdy bez vedlejších efektů urychluje léčbu a snižuje zátěž organismu. Používat DENS mohou nejen odborníci, ale i široká veřejnost

Impulzy vysílané přístroji DiaDENS procházejí před tím, než mohou podráždit nervová zakončení kůže, a proto jsou jejich tvar i amplituda ovlivněny její impedancí. Kůže se nechová lineárně a tak je její určení možné určit pouze pomocí modelů. V roce 1929 zveřejnil svůj model Peter Debye. Tento model je velice jednoduchý a skládá se pouze ze sériového spojení ideálního rezistoru s paralelní kombinací jiného ideálního rezistoru a ideálního kondenzátoru.

Další dlouhodobě uznávaný model impedance lidské kůže byl představen roku 1940 Kennethem Colem. Ten vychází z Debyeho modelu a ideální kondenzátor v něm nahrazuje prvkem s konstantní fází. Díky tomu model lépe odpovídá poznatkům a experimentálně získaným hodnotám impedance kůže. Problematika modelů impedance lidské kůže se řeší i v současnosti a předchozí dva modely slouží jako výchozí body pro vytváření nových modelů, jako je model volné impedance nebo model vytvořený Dorganem a Reillym.

Aby bylo možné měřit signál generovaný přístroji DiaDENS, bylo nejdříve třeba vytvořit obvod, který by simuloval impedanci lidské tkáně a který by byl použit jako zátěž. Jako základ bylo vybráno náhradní schéma použité pro Coleův model a pro Model volné impedance. Ten, ale obsahuje prvek s konstantní fází, který nemůže reálně existovat, a proto je bylo třeba nahradit odpovídajícím RC modelem. Model impedance lidské tkáně byl realizován na DPS s technologií vývodových součástek.

Po vytvoření modelu impedance lidské tkáně, byly na osciloskopu změřeny impulzy generované přístroji DiaDENS-PK, DiaDENS-PKM a DiaDENS-Cardio. Byla proměřena závislost amplitudy signálu na zvolené intenzitě, dále bylo zjištěno, že parametry signálu nezávisí na zvolené frekvenci. Bylo zjištěno, jaké signály jsou generovány přístrojem DiaDENS-PKM při expresním módu a jaké signály generuje přístroj DiaDENS-Cardio.

4 Seznam použitých zdrojů

- [1] VLASOV, A. A., et al. *Manuál dynamické elektroneurostimulace přístroji DiaDENS-T a DiaDENS-DT*. Jekatěrinburg : DENAS MS, 2006. 240 s.
- [2] *Přenosný elektrostimulátor s vnitřními a výstupními elektrodami pro stimulaci BAB (biologicky aktivních bodů) a BAZ (biologicky aktivních zón) a elektropunkturní diagnostiku „DiaDENS-PC“*. [s.l.] : DENAS-CZ, [200?]. 52 s.
- [3] DOS SANTOS, Agostino; DOTSINSKY, Ivan Asenov. *Modelling of the skin impedance during muscle stimulation* [online]. [cit. 2009-11-30]. Dostupné z WWW: <<http://ecad.tu-sofia.bg/et/1996/Statii%20ET96-I/Modelling%20of%20the%20skin%20impedance%20during%20muscle%20stimulation.pdf>>.
- [4] GRIMNES, Sverre; MARTINSEN, Ørjan G. *Cole Electrical Impedance Model – A Critique and an Alternative*. [online]. [cit. 2010-30-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.fys.uio.no/elg/bioimp/pdf/cole.pdf>>.
- [5] DORGAN, Stephen J.; REILLY, Richard B. *A Model for Human Skin Impedance During Surface Functional Neuromuscular Stimulation*. [online]. [cit. 2010-11-30]. Dostupné z WWW: <<http://webird.tcd.ie/bitstream/2262/17624/1/model.pdf>>.
- [6] ROSELL, Javier, et al. *Skin Impedance From 1 Hz to 1 MHz* [online]. [cit. 2010-11-30]. Dostupné z WWW: <<http://upcommons.upc.edu/e-prints/bitstream/2117/1401/4/ROSELL-COLOMINAS.pdf>>.
- [7] *Denas centrum* [online]. [cit. 2010-06-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.denascz.cz/index.php>>.
- [8] *[Postup návrhu RC modelu prvku s konstantní fází. Konzultace s Ing. Petrem Dvořákem podle pramenů poskytnutých prof. Ing. Jurajem Valsou, CSc.]*

5 Seznam příloh

Příloha 1 – Hodnoty naměřené na tkáni (bez působení přístroje)

Příloha 2 – Hodnoty naměřené na tkáni (po 1 minutě působení přístroje DiaDENS)

Příloha 3 – Hodnoty naměřené na tkáni (po 2 minutách působení přístroje DiaDENS)

Příloha 4 – Hodnoty naměřené na tkáni (po 4 minutách působení přístroje DiaDENS)

Příloha 5 – Hodnoty naměřené na tkáni (po 8 minutách působení přístroje DiaDENS)

Příloha 6 – Hodnoty naměřené na tkáni (po 16 minutách působení přístroje DiaDENS)

Příloha 7 – Teoretické hodnoty pro model impedance lidské tkáně

Příloha 8 – Hodnoty naměřené na modelu impedance lidské tkáně

Příloha 9 – Netlist pro program PSpice – modelování prvku s konstantní fází

Příloha 10 – Netlist pro program PSpice – modelování prvku s konstantní fází s reálnými hodnotami součástek

6 Přílohy

Příloha 1 – Hodnoty naměřené na tkáni (bez působení přístroje)

| f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] | f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] | f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] |
|----------|---------------------|---------------|---------|---------------------|---------------|---------|---------------------|---------------|
| 0,099731 | 5644890 | -24,10 | 5,83022 | 810572,6 | -62,36 | 40,6901 | 175240,4 | -69,30 |
| 0,199461 | 6084394 | -33,45 | 6,10352 | 785851,8 | -60,54 | 42,4592 | 175676,3 | -69,68 |
| 0,299192 | 5201531 | -36,73 | 6,38276 | 800912,1 | -62,78 | 44,3892 | 168143,7 | -69,65 |
| 0,398923 | 4616734 | -37,59 | 6,68878 | 755554,4 | -61,86 | 46,503 | 158555,4 | -69,46 |
| 0,498653 | 4590379 | -34,61 | 7,02563 | 716150,7 | -63,79 | 48,9505 | 149331,4 | -71,01 |
| 0,598384 | 3791931 | -40,15 | 7,34258 | 681579,6 | -62,96 | 51,2631 | 143442,8 | -68,81 |
| 0,698115 | 3855776 | -37,38 | 7,68947 | 655380,7 | -62,98 | 53,4437 | 143253,6 | -71,08 |
| 0,797845 | 3518584 | -46,24 | 8,08747 | 637241,4 | -63,43 | 55,9489 | 138967 | -70,59 |
| 0,897576 | 3184373 | -50,07 | 8,45508 | 615282,3 | -63,50 | 58,7406 | 133192,4 | -70,56 |
| 0,997306 | 2879570 | -50,95 | 8,85771 | 588783,1 | -63,51 | 61,5157 | 127762,3 | -70,84 |
| 1,09704 | 2827578 | -50,73 | 9,23463 | 586180,8 | -63,94 | 64,6072 | 123437,7 | -71,07 |
| 1,19677 | 2612890 | -53,72 | 9,71704 | 554288,3 | -63,90 | 67,5154 | 119620 | -71,17 |
| 1,29650 | 2443820 | -55,57 | 10,1725 | 529755,1 | -64,00 | 70,6557 | 114271,7 | -71,37 |
| 1,39623 | 2524303 | -52,01 | 10,6293 | 515326,7 | -64,63 | 73,982 | 110481,7 | -71,47 |
| 1,49596 | 2257156 | -53,10 | 11,1607 | 510253,4 | -65,02 | 77,7363 | 106296,1 | -71,64 |
| 1,59569 | 2161278 | -56,33 | 11,6604 | 485775,5 | -65,20 | 81,3802 | 101707,9 | -71,80 |
| 1,69542 | 2076092 | -54,77 | 12,207 | 462372,5 | -65,38 | 85,1362 | 97976,91 | -71,92 |
| 1,79515 | 2079524 | -54,44 | 12,7794 | 450769,1 | -65,54 | 88,7784 | 94834,59 | -72,07 |
| 1,89488 | 1948515 | -55,56 | 13,3776 | 442049,3 | -66,69 | 93,0059 | 91365,53 | -72,19 |
| 1,99461 | 1932888 | -54,37 | 14,0513 | 423414,5 | -66,21 | 97,901 | 87405,37 | -72,32 |
| 2,11377 | 1762537 | -57,20 | 14,6852 | 403898,2 | -66,29 | 102,526 | 83810,87 | -72,24 |
| 2,21443 | 1670718 | -55,72 | 15,3789 | 384832,2 | -66,30 | 106,811 | 80784,6 | -72,49 |
| 2,31139 | 1625791 | -56,44 | 16,1638 | 384814,7 | -66,31 | 111,898 | 77829,83 | -72,67 |
| 2,42926 | 1597359 | -57,85 | 16,8615 | 367220,3 | -66,44 | 117,481 | 74982,34 | -72,83 |
| 2,54313 | 1509926 | -56,66 | 17,7154 | 344796,8 | -66,78 | 123,303 | 71920,95 | -72,98 |
| 2,65010 | 1491146 | -57,31 | 18,4693 | 343008,9 | -66,78 | 129,214 | 69042,69 | -73,08 |
| 2,77432 | 1425792 | -57,91 | 19,4341 | 326810,7 | -67,02 | 135,216 | 66398,99 | -73,21 |
| 2,91511 | 1385603 | -57,79 | 20,3451 | 309596,5 | -67,24 | 141,311 | 63993,44 | -73,31 |
| 3,05176 | 1283916 | -57,08 | 21,2585 | 310711 | -67,91 | 147,964 | 61519,37 | -73,49 |
| 3,19138 | 1302265 | -58,29 | 22,3214 | 296661,2 | -67,62 | 155,248 | 59009,83 | -73,52 |
| 3,33867 | 1251059 | -59,03 | 23,2515 | 286376,8 | -67,57 | 162,76 | 56646,69 | -73,70 |
| 3,51281 | 1204122 | -60,69 | 24,4752 | 270774,5 | -67,94 | 170,272 | 54548,97 | -73,77 |
| 3,67129 | 1164393 | -59,26 | 25,6316 | 258057,5 | -68,04 | 177,557 | 52638,54 | -73,88 |
| 3,84473 | 1113281 | -60,15 | 26,7551 | 256579,9 | -67,73 | 186,733 | 50345,61 | -73,96 |
| 4,04374 | 1117372 | -57,81 | 28,1025 | 241160,2 | -69,35 | 195,312 | 48504,5 | -74,07 |
| 4,22754 | 1032440 | -61,19 | 29,3703 | 234611,7 | -68,64 | 205,328 | 46467,89 | -74,21 |
| 4,42885 | 977628,9 | -61,47 | 30,7579 | 218665 | -69,18 | 213,701 | 44892,48 | -74,29 |
| 4,61732 | 990223,1 | -60,94 | 32,3276 | 221138,9 | -69,20 | 223,64 | 43172,12 | -74,35 |
| 4,85852 | 935624,8 | -61,04 | 33,7577 | 210488,7 | -68,77 | 235,377 | 41282,09 | -74,46 |
| 5,08626 | 896240 | -61,20 | 35,3278 | 200331,3 | -68,97 | 245,393 | 39852,42 | -74,58 |
| 5,31462 | 849375,1 | -63,47 | 36,951 | 200100,7 | -69,41 | 258,429 | 38116,94 | -74,62 |
| 5,58036 | 855771,5 | -62,17 | 38,8682 | 187305,7 | -69,59 | 270,433 | 36609,51 | -74,71 |

| f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] | f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] | f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] |
|---------|---------------------|---------------|---------|---------------------|---------------|----------|---------------------|---------------|
| 283,278 | 35160,13 | -74,78 | 2063,3 | 6172,867 | -75,30 | 15037,6 | 1145,674 | -68,71 |
| 295,473 | 33895,01 | -74,85 | 2158,45 | 5932,663 | -75,21 | 15748 | 1105,553 | -68,55 |
| 310,497 | 32457,62 | -74,94 | 2263,62 | 5689,703 | -75,16 | 16496,6 | 1065,116 | -68,35 |
| 325,521 | 31162,61 | -75,00 | 2368,79 | 5470,503 | -75,06 | 17275,1 | 1026,719 | -68,01 |
| 340,545 | 29966,43 | -75,09 | 2478,97 | 5256,879 | -75,03 | 18099,5 | 989,9545 | -67,76 |
| 355,569 | 28839,06 | -75,13 | 2599,16 | 5043,939 | -74,93 | 18957,3 | 954,2374 | -67,59 |
| 372,734 | 27685,59 | -75,18 | 2719,35 | 4847,399 | -74,83 | 19840,6 | 922,2895 | -67,32 |
| 390,625 | 26580,23 | -75,23 | 2849,56 | 4655,836 | -74,75 | 20792,6 | 889,1295 | -67,04 |
| 410,657 | 25429,1 | -75,28 | 2984,77 | 4470,986 | -74,65 | 21760,4 | 858,1074 | -66,76 |
| 427,401 | 24594,86 | -75,33 | 3125 | 4294,151 | -74,55 | 22790,2 | 828,1362 | -66,48 |
| 447,28 | 23991,87 | -75,41 | 3275,24 | 4123,403 | -74,48 | 23879,3 | 798,9532 | -66,21 |
| 470,753 | 22813,85 | -75,42 | 3430,49 | 3959,081 | -74,36 | 2,50E+04 | 772,2205 | -65,90 |
| 490,785 | 21955,02 | -75,47 | 3590,74 | 3805,949 | -74,28 | 26194,8 | 744,5034 | -65,62 |
| 515,825 | 20995,23 | -75,50 | 3761,02 | 3654,881 | -74,16 | 27424 | 719,5565 | -65,32 |
| 540,865 | 20134,67 | -75,52 | 3936,3 | 3512,223 | -74,04 | 28720,8 | 695,7903 | -65,06 |
| 565,905 | 19336,9 | -75,56 | 4126,6 | 3371,423 | -73,91 | 30075,2 | 672,0605 | -64,77 |
| 590,945 | 18655,25 | -75,74 | 4321,91 | 3239,931 | -73,80 | 31496,1 | 649,5534 | -64,44 |
| 620,993 | 17829,38 | -75,70 | 4522,23 | 3115,021 | -73,67 | 3,30E+04 | 627,1424 | -64,15 |
| 651,042 | 17123,38 | -75,73 | 4737,58 | 2993,175 | -73,55 | 34562,5 | 606,4489 | -63,83 |
| 681,09 | 16430,16 | -75,80 | 4962,94 | 2875,483 | -73,41 | 36187,5 | 586,1074 | -63,45 |
| 710,679 | 15833,34 | -75,86 | 5198,16 | 2762,895 | -73,28 | 37906,2 | 566,6386 | -63,12 |
| 746,194 | 15158,91 | -75,83 | 5442,18 | 2658,199 | -73,12 | 39687,5 | 548,3177 | -62,79 |
| 781,25 | 14557,72 | -75,85 | 5697,54 | 2554,94 | -72,99 | 41562,5 | 530,5035 | -62,48 |
| 816,306 | 14010,21 | -75,84 | 5970,15 | 2455,421 | -72,83 | 43531,2 | 512,5961 | -62,09 |
| 856,37 | 13412,52 | -75,88 | 6250 | 2358,623 | -72,72 | 45593,7 | 496,2865 | -61,75 |
| 899,53 | 12846,1 | -75,91 | 6548,71 | 2272,422 | -72,50 | 47750 | 480,087 | -61,36 |
| 941,506 | 12337,98 | -75,83 | 6856 | 2186,099 | -72,35 | 5,00E+04 | 464,7035 | -61,00 |
| 986,579 | 11831,25 | -75,82 | 7180,19 | 2099,437 | -72,28 | 52375 | 450,0832 | -60,63 |
| 1031,65 | 11363,64 | -75,81 | 7518,8 | 2020,895 | -72,05 | 54843,7 | 435,7239 | -60,27 |
| 1081,73 | 10912,17 | -75,81 | 7874,02 | 1941,994 | -71,90 | 57437,5 | 422,0167 | -59,87 |
| 1131,81 | 10479,7 | -75,80 | 8247,42 | 1876,905 | -71,66 | 60156,2 | 409,0019 | -59,46 |
| 1186,9 | 10046,67 | -75,80 | 8639,3 | 1801,724 | -71,64 | 6,30E+04 | 395,9975 | -59,07 |
| 1241,99 | 9652,786 | -75,76 | 9049,77 | 1735,784 | -71,16 | 65968,7 | 384,1561 | -58,69 |
| 1297,07 | 9283,621 | -75,72 | 9478,67 | 1668,835 | -71,14 | 69093,7 | 372,3244 | -58,26 |
| 1362,18 | 8900,673 | -75,69 | 9925,56 | 1608,869 | -70,82 | 72375 | 361,0394 | -57,87 |
| 1427,28 | 8538,768 | -75,66 | 10389,6 | 1550,171 | -70,57 | 75781,2 | 350,0421 | -57,44 |
| 1492,39 | 8208,83 | -75,62 | 10880,2 | 1490,938 | -70,39 | 79375 | 339,9062 | -56,99 |
| 1562,5 | 7878,173 | -75,57 | 11396 | 1435,257 | -70,18 | 83125 | 329,8515 | -56,61 |
| 1637,62 | 7562,96 | -75,55 | 11940,3 | 1383,727 | -69,87 | 87062,5 | 321,7865 | -55,12 |
| 1712,74 | 7267,624 | -75,52 | 12500 | 1332,729 | -69,70 | 91187,5 | 312,3625 | -54,65 |
| 1797,88 | 6970,674 | -75,47 | 13089,1 | 1281,641 | -69,45 | 95500 | 303,1872 | -54,23 |
| 1878 | 6702,033 | -75,40 | 13712 | 1234,357 | -69,23 | 1,00E+05 | 294,3858 | -53,76 |
| 1968,15 | 6434,838 | -75,34 | 14364,9 | 1188,49 | -68,96 | | | |

Příloha 2 – Hodnoty naměřené na tkáni (po 1 minutě působení přístroje DiaDENS)

| f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] | f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] | f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] |
|----------|------------|--------|---------|------------|--------|---------|------------|--------|
| 0,099731 | 1432334 | -21,52 | 6,10352 | 458450,6 | -53,25 | 44,3892 | 110563,4 | -66,64 |
| 0,199461 | 1408859 | -25,46 | 6,38276 | 425339,8 | -53,22 | 46,503 | 107559,8 | -66,79 |
| 0,299192 | 1345198 | -28,51 | 6,68878 | 413055,3 | -54,36 | 48,9505 | 100817,4 | -66,00 |
| 0,398923 | 1279373 | -29,37 | 7,02563 | 396912,2 | -54,32 | 51,2631 | 100298,3 | -66,72 |
| 0,498653 | 1250846 | -30,15 | 7,34258 | 396874,3 | -54,98 | 53,4437 | 94859,08 | -67,20 |
| 0,598384 | 1184886 | -32,07 | 7,68947 | 388576,4 | -55,06 | 55,9489 | 92857,7 | -67,87 |
| 0,698115 | 1160457 | -33,66 | 8,08747 | 371485,6 | -55,81 | 58,7406 | 89232,28 | -67,65 |
| 0,797845 | 1122968 | -33,25 | 8,45508 | 363423,7 | -56,09 | 61,5157 | 86389,57 | -68,08 |
| 0,897576 | 1100832 | -34,28 | 8,85771 | 352782,5 | -56,35 | 64,6072 | 82932,71 | -68,37 |
| 0,997306 | 1036537 | -36,52 | 9,23463 | 337434,2 | -56,67 | 67,5154 | 79950,67 | -68,46 |
| 1,09704 | 1025344 | -36,45 | 9,71704 | 328504 | -57,08 | 70,6557 | 77440,53 | -68,70 |
| 1,19677 | 997023 | -36,56 | 10,1725 | 320311,3 | -57,46 | 73,982 | 74588,87 | -68,90 |
| 1,29650 | 957486,2 | -37,93 | 10,6293 | 307172,1 | -59,03 | 77,7363 | 71726,29 | -69,08 |
| 1,39623 | 954166,8 | -38,30 | 11,1607 | 296252,7 | -58,08 | 81,3802 | 69406,31 | -69,22 |
| 1,49596 | 910412,5 | -40,48 | 11,6604 | 288268,2 | -58,51 | 85,1362 | 66922,21 | -69,48 |
| 1,59569 | 894020,9 | -39,92 | 12,207 | 282401,9 | -59,05 | 88,7784 | 64661,34 | -69,69 |
| 1,69542 | 867778,5 | -41,37 | 12,7794 | 273855,1 | -59,45 | 93,0059 | 62296,26 | -69,87 |
| 1,79515 | 859824,8 | -41,62 | 13,3776 | 259621,9 | -59,27 | 97,901 | 59866,43 | -70,07 |
| 1,89488 | 838112,5 | -43,10 | 14,0513 | 252763 | -59,86 | 102,526 | 57881,71 | -70,15 |
| 1,99461 | 810067,1 | -43,01 | 14,6852 | 247873,7 | -60,43 | 106,811 | 55918,07 | -70,34 |
| 2,11377 | 814333,9 | -43,39 | 15,3789 | 240702,3 | -60,53 | 111,898 | 54000,44 | -70,59 |
| 2,21443 | 794111,4 | -44,10 | 16,1638 | 228243 | -60,91 | 117,481 | 51781,75 | -70,82 |
| 2,31139 | 774556,5 | -45,21 | 16,8615 | 222218 | -61,08 | 123,303 | 49788,22 | -70,98 |
| 2,42926 | 744764,9 | -45,51 | 17,7154 | 218209,6 | -61,45 | 129,214 | 47981,52 | -71,14 |
| 2,54313 | 742286,1 | -46,12 | 18,4693 | 208324 | -61,71 | 135,216 | 46287,68 | -71,33 |
| 2,65010 | 716569,9 | -47,21 | 19,4341 | 202671,4 | -62,15 | 141,311 | 44661,29 | -71,47 |
| 2,77432 | 716186 | -47,03 | 20,3451 | 198355,8 | -62,28 | 147,964 | 43044,64 | -71,74 |
| 2,91511 | 682476,2 | -47,55 | 21,2585 | 186716,7 | -62,60 | 155,248 | 41392,09 | -71,85 |
| 3,05176 | 691611,1 | -46,74 | 22,3214 | 181873,3 | -63,13 | 162,76 | 39843,67 | -72,00 |
| 3,19138 | 651858,1 | -48,91 | 23,2515 | 176639,7 | -63,34 | 170,272 | 38374,47 | -72,18 |
| 3,33867 | 642413,7 | -50,52 | 24,4752 | 171770,1 | -63,39 | 177,557 | 37074,85 | -72,33 |
| 3,51281 | 619649,8 | -50,07 | 25,6316 | 167139,3 | -63,68 | 186,733 | 35598,2 | -72,50 |
| 3,67129 | 606078 | -50,67 | 26,7551 | 158510,8 | -64,30 | 195,312 | 34298,89 | -72,64 |
| 3,84473 | 599434 | -51,00 | 28,1025 | 156230,7 | -63,98 | 205,328 | 33191,86 | -72,81 |
| 4,04374 | 573033,8 | -51,90 | 29,3703 | 150246,7 | -64,60 | 213,701 | 32040,22 | -72,98 |
| 4,22754 | 559400,9 | -51,87 | 30,7579 | 148445,7 | -64,50 | 223,64 | 30843,78 | -73,10 |
| 4,42885 | 544891,3 | -52,80 | 32,3276 | 138150,5 | -64,79 | 235,377 | 29554,71 | -73,27 |
| 4,61732 | 521631,7 | -21,52 | 33,7577 | 135329,2 | -65,18 | 245,393 | 28538,34 | -73,45 |
| 4,85852 | 511866,8 | -25,46 | 35,3278 | 131464,5 | -65,44 | 258,429 | 27325,09 | -73,58 |
| 5,08626 | 502079,1 | -28,51 | 36,951 | 124701,3 | -65,77 | 270,433 | 26299,71 | -73,73 |
| 5,31462 | 474259,1 | -29,37 | 38,8682 | 121707,1 | -65,79 | 283,278 | 25291,93 | -73,86 |
| 5,58036 | 466754,8 | -30,15 | 40,6901 | 119744,6 | -65,60 | 295,473 | 24411,36 | -74,00 |
| 5,83022 | 457896,6 | -32,07 | 42,4592 | 113490,5 | -66,33 | 310,497 | 23417,06 | -74,14 |

| f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] | f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] | f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] |
|---------|---------------------|---------------|---------|---------------------|---------------|----------|---------------------|---------------|
| 325,521 | 22498,21 | -74,29 | 2263,62 | 4160,897 | -76,93 | 15748 | 774,9067 | -70,53 |
| 340,545 | 21658,48 | -74,40 | 2368,79 | 3997,82 | -76,91 | 16496,6 | 745,5231 | -70,25 |
| 355,569 | 20877,11 | -74,52 | 2478,97 | 3840,234 | -76,87 | 17275,1 | 718,0666 | -69,91 |
| 372,734 | 20051,55 | -74,65 | 2599,16 | 3683,677 | -76,85 | 18099,5 | 691,1567 | -69,58 |
| 390,625 | 19266,39 | -74,76 | 2719,35 | 3539,229 | -76,80 | 18957,3 | 665,5735 | -69,25 |
| 410,657 | 18466,48 | -74,90 | 2849,56 | 3395,954 | -76,76 | 19840,6 | 641,857 | -68,88 |
| 427,401 | 17845,7 | -74,99 | 2984,77 | 3260,264 | -76,70 | 20792,6 | 617,8511 | -68,53 |
| 447,28 | 17130,66 | -75,24 | 3125 | 3130,677 | -76,66 | 21760,4 | 595,9708 | -68,13 |
| 470,753 | 16421,18 | -75,31 | 3275,24 | 3003,48 | -76,59 | 22790,2 | 574,0457 | -67,77 |
| 490,785 | 15843,53 | -75,41 | 3430,49 | 2883,703 | -76,52 | 23879,3 | 553,5868 | -67,35 |
| 515,825 | 15177,47 | -75,53 | 3590,74 | 2769,426 | -76,45 | 2,50E+04 | 533,6002 | -66,97 |
| 540,865 | 14569,42 | -75,65 | 3761,02 | 2659,21 | -76,37 | 26194,8 | 514,6344 | -66,54 |
| 565,905 | 14010,99 | -75,79 | 3936,3 | 2555,298 | -76,30 | 27424 | 496,8343 | -66,11 |
| 590,945 | 13501,85 | -75,84 | 4126,6 | 2450,663 | -76,20 | 28720,8 | 479,588 | -65,66 |
| 620,993 | 12923,83 | -75,97 | 4321,91 | 2353,084 | -76,13 | 30075,2 | 462,9129 | -65,25 |
| 651,042 | 12412,88 | -76,01 | 4522,23 | 2263,725 | -76,08 | 31496,1 | 446,7262 | -64,79 |
| 681,09 | 11929,56 | -76,08 | 4737,58 | 2172,459 | -75,93 | 3,30E+04 | 431,3837 | -64,27 |
| 710,679 | 11496,41 | -76,17 | 4962,94 | 2085,073 | -75,89 | 34562,5 | 416,7452 | -63,82 |
| 746,194 | 11023,16 | -76,23 | 5198,16 | 2003,326 | -75,70 | 36187,5 | 402,8798 | -63,33 |
| 781,25 | 10587,24 | -76,30 | 5442,18 | 1920,286 | -75,54 | 37906,2 | 389,2727 | -62,82 |
| 816,306 | 10193,07 | -76,43 | 5697,54 | 1844,48 | -75,43 | 39687,5 | 376,3418 | -62,31 |
| 856,37 | 9776,159 | -76,46 | 5970,15 | 1774,376 | -75,31 | 41562,5 | 363,9847 | -61,79 |
| 899,53 | 9366,085 | -76,50 | 6250 | 1705,445 | -75,15 | 43531,2 | 352,0237 | -61,25 |
| 941,506 | 9016,319 | -76,66 | 6548,71 | 1633,704 | -75,00 | 45593,7 | 340,6788 | -60,70 |
| 986,579 | 8634,6 | -76,67 | 6856 | 1569,6 | -74,86 | 47750 | 329,7103 | -60,18 |
| 1031,65 | 8308,09 | -76,71 | 7180,19 | 1510,668 | -74,69 | 5,00E+04 | 319,5316 | -59,61 |
| 1081,73 | 7975,094 | -76,75 | 7518,8 | 1450,866 | -74,51 | 52375 | 309,7758 | -58,03 |
| 1131,81 | 7659,703 | -76,80 | 7874,02 | 1395,832 | -74,31 | 54843,7 | 300,5094 | -57,44 |
| 1186,9 | 7347,252 | -76,84 | 8247,42 | 1341,194 | -74,17 | 57437,5 | 291,5678 | -56,78 |
| 1241,99 | 7059,764 | -76,90 | 8639,3 | 1286,719 | -73,84 | 60156,2 | 282,7256 | -56,18 |
| 1297,07 | 6796,018 | -76,88 | 9049,77 | 1239,368 | -73,65 | 6,30E+04 | 274,6494 | -55,57 |
| 1362,18 | 6509,179 | -76,93 | 9478,67 | 1190,954 | -73,46 | 65968,7 | 266,7452 | -54,91 |
| 1427,28 | 6248,009 | -76,94 | 9925,56 | 1145,708 | -73,15 | 69093,7 | 258,9157 | -54,30 |
| 1492,39 | 6006 | -76,96 | 10389,6 | 1100,338 | -73,03 | 72375 | 251,5877 | -53,64 |
| 1562,5 | 5770,167 | -76,99 | 10880,2 | 1057,952 | -72,79 | 75781,2 | 244,6373 | -53,02 |
| 1637,62 | 5534,377 | -77,01 | 11396 | 1015,898 | -72,49 | 79375 | 237,757 | -52,42 |
| 1712,74 | 5321,016 | -76,99 | 11940,3 | 977,2396 | -72,30 | 83125 | 231,3256 | -51,78 |
| 1797,88 | 5099,358 | -77,00 | 12500 | 938,9863 | -71,99 | 87062,5 | 225,1648 | -51,14 |
| 1878 | 4906,407 | -77,01 | 13089,1 | 903,7513 | -71,68 | 91187,5 | 219,0937 | -50,48 |
| 1968,15 | 4707,132 | -76,97 | 13712 | 868,857 | -71,44 | 95500 | 213,2343 | -49,85 |
| 2063,3 | 4515,416 | -76,96 | 14364,9 | 835,9316 | -71,13 | 1,00E+05 | 207,5938 | -49,16 |
| 2158,45 | 4340,586 | -76,98 | 15037,6 | 805,406 | -70,88 | | | |

Příloha 3 – Hodnoty naměřené na tkáni (po 2 minutách působení přístroje DiaDENS)

| f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] | f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] | f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] |
|----------|---------------------|---------------|---------|---------------------|---------------|---------|---------------------|---------------|
| 0,099731 | 772642,2 | -7,81 | 6,10352 | 339283,7 | -44,04 | 44,3892 | 96561,07 | -62,95 |
| 0,199461 | 746065,4 | -9,82 | 6,38276 | 330960,1 | -43,66 | 46,503 | 93309,38 | -62,99 |
| 0,299192 | 723886,6 | -10,86 | 6,68878 | 325390,9 | -44,62 | 48,9505 | 88090,44 | -63,12 |
| 0,398923 | 706735,7 | -12,02 | 7,02563 | 317883,8 | -45,43 | 51,2631 | 86672,42 | -62,94 |
| 0,498653 | 695575,5 | -12,67 | 7,34258 | 308904,4 | -46,37 | 53,4437 | 83655,33 | -64,03 |
| 0,598384 | 671811,2 | -15,10 | 7,68947 | 303448,6 | -47,13 | 55,9489 | 81494,15 | -64,41 |
| 0,698115 | 662342,5 | -14,96 | 8,08747 | 298043 | -47,12 | 58,7406 | 78471,15 | -64,39 |
| 0,797845 | 649931,9 | -17,50 | 8,45508 | 287325,3 | -48,36 | 61,5157 | 75926,94 | -64,84 |
| 0,897576 | 643518,3 | -19,49 | 8,85771 | 280529,6 | -48,93 | 64,6072 | 73275,87 | -65,09 |
| 0,997306 | 624311,5 | -20,27 | 9,23463 | 272582 | -48,81 | 67,5154 | 70934,74 | -65,29 |
| 1,09704 | 617652,5 | -20,79 | 9,71704 | 263777 | -49,71 | 70,6557 | 68482,77 | -65,60 |
| 1,19677 | 608385,7 | -22,27 | 10,1725 | 257260,3 | -50,45 | 73,982 | 66256,83 | -65,83 |
| 1,29650 | 591887 | -23,65 | 10,6293 | 246160,1 | -50,61 | 77,7363 | 63779,96 | -66,07 |
| 1,39623 | 586650 | -23,27 | 11,1607 | 242570,5 | -51,11 | 81,3802 | 61568,98 | -66,32 |
| 1,49596 | 573913,6 | -24,46 | 11,6604 | 237316,8 | -51,47 | 85,1362 | 59577,08 | -66,61 |
| 1,59569 | 564351,2 | -25,90 | 12,207 | 230414,3 | -52,61 | 88,7784 | 57718,95 | -66,81 |
| 1,69542 | 557293 | -26,32 | 12,7794 | 224696,2 | -52,66 | 93,0059 | 55650,61 | -67,01 |
| 1,79515 | 551767,3 | -26,48 | 13,3776 | 218465,6 | -52,77 | 97,901 | 53535,51 | -67,28 |
| 1,89488 | 542389,7 | -27,37 | 14,0513 | 211257,1 | -53,54 | 102,526 | 51622,61 | -67,46 |
| 1,99461 | 529960,3 | -27,89 | 14,6852 | 205303,2 | -54,25 | 106,811 | 50036,57 | -67,71 |
| 2,11377 | 539159,6 | -29,64 | 15,3789 | 199801,1 | -54,68 | 111,898 | 48351,38 | -67,97 |
| 2,21443 | 531935,4 | -30,12 | 16,1638 | 193519,3 | -54,64 | 117,481 | 46530,8 | -68,19 |
| 2,31139 | 521621,2 | -30,56 | 16,8615 | 188395,9 | -55,40 | 123,303 | 44836,42 | -68,42 |
| 2,42926 | 511096,3 | -31,18 | 17,7154 | 182507 | -56,02 | 129,214 | 43233,69 | -68,63 |
| 2,54313 | 503869,2 | -32,35 | 18,4693 | 177424,1 | -56,07 | 135,216 | 41699,31 | -68,86 |
| 2,65010 | 497124,5 | -32,57 | 19,4341 | 170876,8 | -56,65 | 141,311 | 40306,17 | -69,06 |
| 2,77432 | 491420,5 | -33,42 | 20,3451 | 165886,2 | -57,35 | 147,964 | 38876,79 | -69,33 |
| 2,91511 | 480286,8 | -34,11 | 21,2585 | 162119,1 | -57,07 | 155,248 | 37427,28 | -69,49 |
| 3,05176 | 471401,6 | -35,30 | 22,3214 | 155970,2 | -57,57 | 162,76 | 36048,8 | -69,70 |
| 3,19138 | 465624,2 | -35,22 | 23,2515 | 151972,4 | -58,11 | 170,272 | 34793,4 | -69,86 |
| 3,33867 | 455216,5 | -36,01 | 24,4752 | 146602,5 | -58,60 | 177,557 | 33650,17 | -70,02 |
| 3,51281 | 438780,7 | -35,38 | 25,6316 | 141933,4 | -59,08 | 186,733 | 32326,09 | -70,27 |
| 3,67129 | 435505,2 | -37,22 | 26,7551 | 138313,5 | -58,91 | 195,312 | 31204,59 | -70,46 |
| 3,84473 | 430281 | -38,09 | 28,1025 | 133388,7 | -58,73 | 205,328 | 29970,01 | -70,65 |
| 4,04374 | 424650,4 | -39,12 | 29,3703 | 129302,9 | -60,05 | 213,701 | 29031,02 | -70,83 |
| 4,22754 | 408763,7 | -38,94 | 30,7579 | 125379,6 | -59,74 | 223,64 | 27993,93 | -71,00 |
| 4,42885 | 402029,8 | -39,08 | 32,3276 | 121243,7 | -60,33 | 235,377 | 26858,61 | -71,23 |
| 4,61732 | 389453,8 | -39,79 | 33,7577 | 117427,4 | -61,00 | 245,393 | 25980,56 | -71,38 |
| 4,85852 | 384951,3 | -40,41 | 35,3278 | 113337,8 | -61,42 | 258,429 | 24908,14 | -71,57 |
| 5,08626 | 378001,1 | -41,71 | 36,951 | 110156,5 | -61,56 | 270,433 | 24000,81 | -71,75 |
| 5,31462 | 362150,9 | -41,07 | 38,8682 | 105840,8 | -61,96 | 283,278 | 23111,25 | -71,94 |
| 5,58036 | 357733,8 | -42,32 | 40,6901 | 102855,5 | -61,68 | 295,473 | 22334,89 | -72,09 |
| 5,83022 | 350170,9 | -43,42 | 42,4592 | 99628,91 | -62,48 | 310,497 | 21443,11 | -72,27 |

| f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] | f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] | f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] |
|---------|---------------------|---------------|---------|---------------------|---------------|----------|---------------------|---------------|
| 325,521 | 20626,9 | -72,45 | 2263,62 | 3934,436 | -76,48 | 15748 | 732,2834 | -71,09 |
| 340,545 | 19878,12 | -72,61 | 2368,79 | 3781,818 | -76,48 | 16496,6 | 704,8816 | -70,77 |
| 355,569 | 19180,76 | -72,75 | 2478,97 | 3634,086 | -76,46 | 17275,1 | 677,966 | -70,41 |
| 372,734 | 18443,53 | -72,89 | 2599,16 | 3486,772 | -76,46 | 18099,5 | 652,2347 | -70,07 |
| 390,625 | 17740,78 | -73,07 | 2719,35 | 3351,149 | -76,44 | 18957,3 | 627,9122 | -69,75 |
| 410,657 | 17025,16 | -73,30 | 2849,56 | 3215,898 | -76,44 | 19840,6 | 604,8863 | -69,40 |
| 427,401 | 16474,37 | -73,48 | 2984,77 | 3088,241 | -76,41 | 20792,6 | 582,0139 | -69,07 |
| 447,28 | 15885,28 | -73,55 | 3125 | 2965,521 | -76,38 | 21760,4 | 560,7539 | -68,68 |
| 470,753 | 15197,05 | -73,68 | 3275,24 | 2845,978 | -76,34 | 22790,2 | 540,3961 | -68,33 |
| 490,785 | 14662,9 | -73,84 | 3430,49 | 2733,303 | -76,32 | 23879,3 | 520,7615 | -67,94 |
| 515,825 | 14070,24 | -73,99 | 3590,74 | 2625,601 | -76,28 | 2,50E+04 | 502,2707 | -67,49 |
| 540,865 | 13523,02 | -74,13 | 3761,02 | 2521,822 | -76,23 | 26194,8 | 483,9165 | -67,06 |
| 565,905 | 13014,49 | -74,30 | 3936,3 | 2423,197 | -76,17 | 27424 | 466,7076 | -66,64 |
| 590,945 | 12552,56 | -74,42 | 4126,6 | 2324,82 | -76,07 | 28720,8 | 449,9894 | -66,19 |
| 620,993 | 12029,64 | -74,57 | 4321,91 | 2230,832 | -76,07 | 30075,2 | 434,3726 | -65,71 |
| 651,042 | 11561,57 | -74,72 | 4522,23 | 2144,876 | -76,01 | 31496,1 | 418,9762 | -65,27 |
| 681,09 | 11113,22 | -74,80 | 4737,58 | 2059,872 | -75,92 | 3,30E+04 | 404,5079 | -64,80 |
| 710,679 | 10734,04 | -74,90 | 4962,94 | 1978,765 | -75,82 | 34562,5 | 390,2732 | -64,28 |
| 746,194 | 10288,3 | -75,04 | 5198,16 | 1899,575 | -75,71 | 36187,5 | 377,0897 | -63,79 |
| 781,25 | 9897,451 | -75,14 | 5442,18 | 1825,777 | -75,57 | 37906,2 | 364,2717 | -63,25 |
| 816,306 | 9532,523 | -75,22 | 5697,54 | 1753,833 | -75,44 | 39687,5 | 352,2337 | -62,75 |
| 856,37 | 9141,152 | -75,33 | 5970,15 | 1682,054 | -75,39 | 41562,5 | 340,5226 | -62,19 |
| 899,53 | 8765,425 | -75,41 | 6250 | 1616,777 | -75,29 | 43531,2 | 329,1846 | -61,64 |
| 941,506 | 8431,877 | -75,46 | 6548,71 | 1551,549 | -75,11 | 45593,7 | 318,2493 | -61,08 |
| 986,579 | 8092,636 | -75,62 | 6856 | 1490,915 | -74,98 | 47750 | 309,0876 | -59,50 |
| 1031,65 | 7791,03 | -75,69 | 7180,19 | 1432,612 | -74,87 | 5,00E+04 | 299,301 | -58,86 |
| 1081,73 | 7477,915 | -75,74 | 7518,8 | 1375,022 | -74,70 | 52375 | 289,9811 | -58,24 |
| 1131,81 | 7190,801 | -75,85 | 7874,02 | 1321,857 | -74,59 | 54843,7 | 281,3092 | -57,65 |
| 1186,9 | 6900,099 | -75,92 | 8247,42 | 1274,04 | -74,38 | 57437,5 | 272,2908 | -57,03 |
| 1241,99 | 6639,076 | -75,97 | 8639,3 | 1223,783 | -74,26 | 60156,2 | 264,5977 | -56,41 |
| 1297,07 | 6392,32 | -76,03 | 9049,77 | 1174,807 | -74,00 | 6,30E+04 | 256,489 | -55,80 |
| 1362,18 | 6126,798 | -76,10 | 9478,67 | 1128,363 | -73,78 | 65968,7 | 249,0179 | -55,15 |
| 1427,28 | 5883,536 | -76,15 | 9925,56 | 1086,703 | -73,54 | 69093,7 | 241,8107 | -54,53 |
| 1492,39 | 5660,474 | -76,22 | 10389,6 | 1042,983 | -73,41 | 72375 | 234,8892 | -53,91 |
| 1562,5 | 5437,888 | -76,25 | 10880,2 | 1003,07 | -73,13 | 75781,2 | 228,1667 | -53,25 |
| 1637,62 | 5219,862 | -76,30 | 11396 | 963,6352 | -72,88 | 79375 | 221,763 | -52,60 |
| 1712,74 | 5019,143 | -76,34 | 11940,3 | 926,8283 | -72,69 | 83125 | 215,6098 | -51,93 |
| 1797,88 | 4813,64 | -76,36 | 12500 | 890,1713 | -72,36 | 87062,5 | 209,72 | -51,26 |
| 1878 | 4632,352 | -76,38 | 13089,1 | 855,3626 | -72,12 | 91187,5 | 203,8771 | -50,56 |
| 1968,15 | 4447,09 | -76,42 | 13712 | 822,5711 | -71,93 | 95500 | 198,3838 | -49,88 |
| 2063,3 | 4267,259 | -76,45 | 14364,9 | 791,2718 | -71,57 | 1,00E+05 | 193,1718 | -49,15 |
| 2158,45 | 4102,588 | -76,44 | 15037,6 | 761,7951 | -71,31 | | | |

Příloha 4 – Hodnoty naměřené na tkáni (po 4 minutách působení přístroje DiaDENS)

| f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] | f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] | f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] |
|----------|------------|--------|---------|------------|--------|---------|------------|--------|
| 0,099731 | 422691,5 | -10,98 | 6,10352 | 261134,7 | -36,92 | 44,3892 | 85169,49 | -59,05 |
| 0,199461 | 443393,9 | -10,16 | 6,38276 | 259687,2 | -37,12 | 46,503 | 82219,18 | -59,14 |
| 0,299192 | 433072 | -9,37 | 6,68878 | 253851,3 | -37,44 | 48,9505 | 78468,43 | -59,29 |
| 0,398923 | 420793,8 | -9,98 | 7,02563 | 247057,4 | -38,42 | 51,2631 | 76848,75 | -59,35 |
| 0,498653 | 411808,8 | -10,42 | 7,34258 | 240890,4 | -39,08 | 53,4437 | 74402,05 | -60,41 |
| 0,598384 | 398965,2 | -11,48 | 7,68947 | 235736,2 | -39,71 | 55,9489 | 72379,73 | -60,90 |
| 0,698115 | 396936,1 | -11,09 | 8,08747 | 233869,7 | -40,54 | 58,7406 | 70090,57 | -60,86 |
| 0,797845 | 391135,3 | -12,88 | 8,45508 | 226876,6 | -40,96 | 61,5157 | 67706,94 | -61,47 |
| 0,897576 | 386630,7 | -14,58 | 8,85771 | 219729,5 | -41,64 | 64,6072 | 65553,08 | -61,79 |
| 0,997306 | 379443 | -15,40 | 9,23463 | 219104,3 | -42,29 | 67,5154 | 63684,87 | -62,08 |
| 1,09704 | 375913,2 | -15,39 | 9,71704 | 213398,3 | -43,12 | 70,6557 | 61456,63 | -62,38 |
| 1,19677 | 375362,4 | -16,32 | 10,1725 | 206079,8 | -43,36 | 73,982 | 59572,83 | -62,70 |
| 1,29650 | 368972,9 | -18,23 | 10,6293 | 206050,3 | -43,02 | 77,7363 | 57523,36 | -63,06 |
| 1,39623 | 365078,5 | -16,86 | 11,1607 | 198739,6 | -44,56 | 81,3802 | 55461,39 | -63,39 |
| 1,49596 | 357659,4 | -18,39 | 11,6604 | 193536,6 | -45,66 | 85,1362 | 53763,56 | -63,65 |
| 1,59569 | 356219,8 | -19,63 | 12,207 | 187899,5 | -45,65 | 88,7784 | 52223,21 | -63,86 |
| 1,69542 | 352976,5 | -19,57 | 12,7794 | 183778,5 | -46,46 | 93,0059 | 50588,76 | -64,22 |
| 1,79515 | 350292,3 | -19,65 | 13,3776 | 182034,6 | -46,75 | 97,901 | 48738,25 | -64,49 |
| 1,89488 | 346250,6 | -20,57 | 14,0513 | 175686,7 | -47,54 | 102,526 | 46990,71 | -65,02 |
| 1,99461 | 340172,8 | -21,00 | 14,6852 | 170584,5 | -47,89 | 106,811 | 45688,19 | -65,18 |
| 2,11377 | 358049,9 | -22,51 | 15,3789 | 164807,9 | -48,64 | 111,898 | 44039,45 | -65,28 |
| 2,21443 | 351384,9 | -22,90 | 16,1638 | 163448,3 | -49,11 | 117,481 | 42573 | -65,61 |
| 2,31139 | 350520,3 | -23,38 | 16,8615 | 158329,4 | -49,76 | 123,303 | 41059,5 | -65,90 |
| 2,42926 | 348299,9 | -23,83 | 17,7154 | 151431,1 | -50,24 | 129,214 | 39617,21 | -66,17 |
| 2,54313 | 342532,2 | -24,43 | 18,4693 | 150786,1 | -50,67 | 135,216 | 38274,71 | -66,40 |
| 2,65010 | 341182,9 | -25,20 | 19,4341 | 144857,7 | -51,21 | 141,311 | 37002,15 | -66,71 |
| 2,77432 | 336457,1 | -25,64 | 20,3451 | 140253,2 | -51,69 | 147,964 | 35798,64 | -66,87 |
| 2,91511 | 332461,4 | -26,29 | 21,2585 | 138408,6 | -52,06 | 155,248 | 34452,86 | -67,19 |
| 3,05176 | 326968,5 | -26,65 | 22,3214 | 133639,4 | -52,64 | 162,76 | 33224,97 | -67,46 |
| 3,19138 | 328213,8 | -27,55 | 23,2515 | 130761,5 | -53,20 | 170,272 | 32112,99 | -67,70 |
| 3,33867 | 320354,3 | -28,08 | 24,4752 | 125455,9 | -53,57 | 177,557 | 31126,49 | -67,89 |
| 3,51281 | 317848,8 | -29,12 | 25,6316 | 121528,2 | -54,07 | 186,733 | 29883,63 | -68,15 |
| 3,67129 | 312971,5 | -29,34 | 26,7551 | 120716,7 | -54,49 | 195,312 | 28881,15 | -68,41 |
| 3,84473 | 306832 | -29,84 | 28,1025 | 115937,4 | -54,29 | 205,328 | 27783,09 | -68,67 |
| 4,04374 | 302487,6 | -29,89 | 29,3703 | 112025,6 | -55,36 | 213,701 | 26936,54 | -68,84 |
| 4,22754 | 299333,7 | -31,38 | 30,7579 | 108697,3 | -55,38 | 223,64 | 25989,14 | -69,08 |
| 4,42885 | 292800,8 | -32,69 | 32,3276 | 106105,7 | -56,13 | 235,377 | 24965,71 | -69,33 |
| 4,61732 | 291517,6 | -32,53 | 33,7577 | 102567,7 | -56,60 | 245,393 | 24158,81 | -69,52 |
| 4,85852 | 284944,4 | -33,56 | 35,3278 | 98792,62 | -57,11 | 258,429 | 23188,53 | -69,78 |
| 5,08626 | 278863,8 | -34,11 | 36,951 | 97257,15 | -57,52 | 270,433 | 22363,92 | -69,98 |
| 5,31462 | 279537,3 | -34,93 | 38,8682 | 93077,81 | -57,85 | 283,278 | 21564,73 | -70,19 |
| 5,58036 | 271803,3 | -35,22 | 40,6901 | 90546,84 | -57,73 | 295,473 | 20844,25 | -70,38 |
| 5,83022 | 266858,1 | -35,83 | 42,4592 | 88135,28 | -58,55 | 310,497 | 20029,52 | -70,59 |

| f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] | f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] | f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] |
|---------|---------------------|---------------|---------|---------------------|---------------|----------|---------------------|---------------|
| 325,521 | 19288,8 | -70,80 | 2263,62 | 3839,762 | -75,95 | 15748 | 704,1739 | -71,32 |
| 340,545 | 18601,01 | -70,96 | 2368,79 | 3684,841 | -75,98 | 16496,6 | 677,6716 | -70,98 |
| 355,569 | 17963,25 | -71,15 | 2478,97 | 3539,417 | -76,00 | 17275,1 | 652,5863 | -70,67 |
| 372,734 | 17304,85 | -71,44 | 2599,16 | 3394,303 | -76,01 | 18099,5 | 627,0495 | -70,36 |
| 390,625 | 16682,56 | -71,57 | 2719,35 | 3263,011 | -76,02 | 18957,3 | 603,6105 | -70,03 |
| 410,657 | 16006,4 | -71,85 | 2849,56 | 3131,929 | -76,04 | 19840,6 | 580,9284 | -69,68 |
| 427,401 | 15496,82 | -72,00 | 2984,77 | 3006,905 | -76,02 | 20792,6 | 559,1268 | -69,35 |
| 447,28 | 14929,33 | -72,22 | 3125 | 2888,717 | -76,03 | 21760,4 | 538,8041 | -68,98 |
| 470,753 | 14309,95 | -72,34 | 3275,24 | 2772,226 | -76,01 | 22790,2 | 518,9387 | -68,58 |
| 490,785 | 13819,46 | -72,51 | 3430,49 | 2662,83 | -76,00 | 23879,3 | 499,6181 | -68,21 |
| 515,825 | 13284,63 | -72,78 | 3590,74 | 2557,617 | -75,97 | 2,50E+04 | 481,9862 | -67,78 |
| 540,865 | 12764,74 | -72,90 | 3761,02 | 2456,54 | -75,95 | 26194,8 | 464,0569 | -67,37 |
| 565,905 | 12297,92 | -73,08 | 3936,3 | 2358,341 | -75,90 | 27424 | 447,3423 | -66,94 |
| 590,945 | 11848,26 | -73,21 | 4126,6 | 2262,258 | -75,88 | 28720,8 | 431,3741 | -66,50 |
| 620,993 | 11382,63 | -73,34 | 4321,91 | 2170,779 | -75,86 | 30075,2 | 415,7585 | -66,03 |
| 651,042 | 10935,47 | -73,56 | 4522,23 | 2085,224 | -75,78 | 31496,1 | 401,1973 | -65,57 |
| 681,09 | 10534,59 | -73,70 | 4737,58 | 2003,837 | -75,73 | 3,30E+04 | 386,8841 | -65,09 |
| 710,679 | 10161,31 | -73,78 | 4962,94 | 1922,979 | -75,70 | 34562,5 | 373,517 | -64,58 |
| 746,194 | 9748,892 | -73,91 | 5198,16 | 1845,084 | -75,61 | 36187,5 | 360,6021 | -64,06 |
| 781,25 | 9388,939 | -74,05 | 5442,18 | 1789,354 | -75,54 | 37906,2 | 348,0265 | -63,52 |
| 816,306 | 9044,492 | -74,16 | 5697,54 | 1722,619 | -75,45 | 39687,5 | 336,3284 | -63,00 |
| 856,37 | 8687,755 | -74,36 | 5970,15 | 1674,61 | -75,34 | 41562,5 | 325,1962 | -62,47 |
| 899,53 | 8330,05 | -74,45 | 6250 | 1599,246 | -75,28 | 43531,2 | 314,2232 | -61,90 |
| 941,506 | 8014,838 | -74,58 | 6548,71 | 1534,228 | -75,14 | 45593,7 | 304,1505 | -60,22 |
| 986,579 | 7702,051 | -74,67 | 6856 | 1463,22 | -75,01 | 47750 | 294,7238 | -59,55 |
| 1031,65 | 7410,562 | -74,78 | 7180,19 | 1394,291 | -74,88 | 5,00E+04 | 285,1789 | -58,96 |
| 1081,73 | 7119,713 | -74,90 | 7518,8 | 1335,875 | -74,80 | 52375 | 276,2837 | -58,31 |
| 1131,81 | 6849,192 | -74,98 | 7874,02 | 1281,525 | -74,68 | 54843,7 | 267,7415 | -57,67 |
| 1186,9 | 6577,544 | -75,07 | 8247,42 | 1233,653 | -74,42 | 57437,5 | 259,6487 | -57,01 |
| 1241,99 | 6326,548 | -75,19 | 8639,3 | 1183,294 | -74,19 | 60156,2 | 251,8674 | -56,39 |
| 1297,07 | 6095,636 | -75,24 | 9049,77 | 1138,26 | -73,98 | 6,30E+04 | 244,3146 | -55,71 |
| 1362,18 | 5848,294 | -75,35 | 9478,67 | 1092,174 | -73,70 | 65968,7 | 237,1924 | -55,05 |
| 1427,28 | 5618,331 | -75,42 | 9925,56 | 1048,017 | -73,63 | 69093,7 | 230,335 | -54,39 |
| 1492,39 | 5404,824 | -75,49 | 10389,6 | 1007,742 | -73,46 | 72375 | 223,8373 | -53,74 |
| 1562,5 | 5195,453 | -75,56 | 10880,2 | 967,6811 | -73,24 | 75781,2 | 217,6512 | -53,11 |
| 1637,62 | 4989,303 | -75,66 | 11396 | 930,3298 | -72,99 | 79375 | 211,6827 | -52,46 |
| 1712,74 | 4798,144 | -75,70 | 11940,3 | 893,0421 | -72,80 | 83125 | 205,8151 | -51,81 |
| 1797,88 | 4604,512 | -75,79 | 12500 | 857,541 | -72,54 | 87062,5 | 200,2027 | -51,14 |
| 1878 | 4439,843 | -75,80 | 13089,1 | 824,1676 | -72,33 | 91187,5 | 194,7541 | -50,46 |
| 1968,15 | 4324,949 | -75,81 | 13712 | 791,9654 | -72,08 | 95500 | 189,4677 | -49,77 |
| 2063,3 | 4161,372 | -75,87 | 14364,9 | 761,8226 | -71,78 | 1,00E+05 | 184,4113 | -49,05 |
| 2158,45 | 4001,243 | -75,91 | 15037,6 | 732,4601 | -71,55 | | | |

Příloha 5 – Hodnoty naměřené na tkáni (po 8 minutách působení přístroje DiaDENS)

| f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] | f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] | f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] |
|----------|------------|--------|---------|------------|--------|---------|------------|--------|
| 0,099731 | 301784,7 | -12,20 | 6,10352 | 202821,6 | -30,77 | 44,3892 | 75876,94 | -55,46 |
| 0,199461 | 319932,2 | -10,83 | 6,38276 | 203683,2 | -31,96 | 46,503 | 73937,3 | -55,90 |
| 0,299192 | 311986,8 | -9,27 | 6,68878 | 197826,8 | -32,92 | 48,9505 | 70812,88 | -55,54 |
| 0,398923 | 303359,1 | -9,53 | 7,02563 | 197430,5 | -33,82 | 51,2631 | 69553,76 | -56,07 |
| 0,498653 | 295215,9 | -9,87 | 7,34258 | 193153,5 | -34,32 | 53,4437 | 67054,96 | -57,10 |
| 0,598384 | 286871,7 | -10,19 | 7,68947 | 190022,4 | -34,86 | 55,9489 | 65483,14 | -57,60 |
| 0,698115 | 286682,7 | -10,11 | 8,08747 | 186170,4 | -36,41 | 58,7406 | 63293,55 | -57,70 |
| 0,797845 | 281997,6 | -11,24 | 8,45508 | 182770,8 | -36,07 | 61,5157 | 61344,26 | -58,25 |
| 0,897576 | 278963,6 | -12,67 | 8,85771 | 178050,7 | -36,76 | 64,6072 | 59438,48 | -58,65 |
| 0,997306 | 275147,1 | -13,27 | 9,23463 | 177163,5 | -37,20 | 67,5154 | 57722,93 | -59,01 |
| 1,09704 | 273097,4 | -13,20 | 9,71704 | 174067,6 | -38,01 | 70,6557 | 55896,3 | -59,40 |
| 1,19677 | 273239,7 | -13,84 | 10,1725 | 167420,1 | -37,56 | 73,982 | 54255,45 | -59,72 |
| 1,29650 | 269130,5 | -15,55 | 10,6293 | 165390,2 | -37,87 | 77,7363 | 52460,91 | -60,16 |
| 1,39623 | 266457 | -14,33 | 11,1607 | 163566,9 | -39,65 | 81,3802 | 50707,09 | -60,51 |
| 1,49596 | 261887,6 | -15,75 | 11,6604 | 160363 | -40,25 | 85,1362 | 49197,79 | -60,87 |
| 1,59569 | 261666,6 | -16,67 | 12,207 | 156612,3 | -41,00 | 88,7784 | 47821,51 | -61,17 |
| 1,69542 | 259486,7 | -16,59 | 12,7794 | 153362 | -41,52 | 93,0059 | 46281,31 | -61,52 |
| 1,79515 | 257692 | -16,67 | 13,3776 | 150190,3 | -42,26 | 97,901 | 44647,56 | -61,89 |
| 1,89488 | 255406,5 | -17,43 | 14,0513 | 146816,5 | -42,87 | 102,526 | 43113,3 | -62,18 |
| 1,99461 | 251847,3 | -17,82 | 14,6852 | 143309,3 | -43,39 | 106,811 | 41868,46 | -62,54 |
| 2,11377 | 264309,6 | -19,10 | 15,3789 | 140051,9 | -43,85 | 111,898 | 40544,17 | -62,84 |
| 2,21443 | 262133,6 | -19,24 | 16,1638 | 137501,1 | -44,45 | 117,481 | 39202,04 | -63,17 |
| 2,31139 | 260572,2 | -19,66 | 16,8615 | 132981,4 | -44,82 | 123,303 | 37824,58 | -63,54 |
| 2,42926 | 258623,5 | -20,28 | 17,7154 | 130110,7 | -45,60 | 129,214 | 36561,22 | -63,85 |
| 2,54313 | 256891,7 | -20,90 | 18,4693 | 127687,9 | -46,12 | 135,216 | 35358,43 | -64,17 |
| 2,65010 | 255787,1 | -21,33 | 19,4341 | 124274,3 | -46,83 | 141,311 | 34251,3 | -64,48 |
| 2,77432 | 252838,3 | -21,69 | 20,3451 | 121038,2 | -47,21 | 147,964 | 33086,43 | -64,73 |
| 2,91511 | 251052,3 | -22,50 | 21,2585 | 118880,7 | -47,75 | 155,248 | 31929,34 | -65,08 |
| 3,05176 | 252670,3 | -22,38 | 22,3214 | 115224,9 | -48,34 | 162,76 | 30844,19 | -65,39 |
| 3,19138 | 246290,4 | -23,32 | 23,2515 | 112395,5 | -48,73 | 170,272 | 29831,1 | -65,64 |
| 3,33867 | 244069,6 | -23,89 | 24,4752 | 109076,3 | -49,27 | 177,557 | 28918,84 | -65,94 |
| 3,51281 | 243183,9 | -25,21 | 25,6316 | 106135,7 | -49,94 | 186,733 | 27836,82 | -66,23 |
| 3,67129 | 238739,6 | -24,77 | 26,7551 | 103924,5 | -50,28 | 195,312 | 26909,47 | -66,50 |
| 3,84473 | 236267,3 | -25,59 | 28,1025 | 101070,8 | -51,42 | 205,328 | 25905,97 | -66,81 |
| 4,04374 | 226661,2 | -25,18 | 29,3703 | 98054,05 | -51,27 | 213,701 | 25133,71 | -67,04 |
| 4,22754 | 231484,7 | -26,89 | 30,7579 | 95398,27 | -52,35 | 223,64 | 24282,07 | -67,31 |
| 4,42885 | 228065,4 | -27,76 | 32,3276 | 93196,23 | -52,39 | 235,377 | 23340,79 | -67,59 |
| 4,61732 | 225795,9 | -27,97 | 33,7577 | 89810,49 | -52,34 | 245,393 | 22592,7 | -67,85 |
| 4,85852 | 221419,9 | -29,64 | 35,3278 | 87730,78 | -53,17 | 258,429 | 21720,11 | -68,12 |
| 5,08626 | 218556,1 | -29,05 | 36,951 | 85822,08 | -53,48 | 270,433 | 20967,38 | -68,35 |
| 5,31462 | 218766,3 | -28,98 | 38,8682 | 82865,97 | -54,00 | 283,278 | 20233,63 | -68,59 |
| 5,58036 | 212892,7 | -30,36 | 40,6901 | 80810,97 | -54,91 | 295,473 | 19570,08 | -68,84 |
| 5,83022 | 209110,2 | -30,75 | 42,4592 | 78357,55 | -54,95 | 310,497 | 18820,66 | -69,08 |

| f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] | f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] | f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] |
|---------|---------------------|---------------|---------|---------------------|---------------|----------|---------------------|---------------|
| 325,521 | 18135,52 | -69,33 | 2263,62 | 3609,774 | -75,43 | 15748 | 676,4642 | -71,09 |
| 340,545 | 17512,52 | -69,55 | 2368,79 | 3470,555 | -75,45 | 16496,6 | 650,8962 | -70,80 |
| 355,569 | 16968,35 | -69,82 | 2478,97 | 3337,2 | -75,49 | 17275,1 | 626,6376 | -70,49 |
| 372,734 | 16321,47 | -70,01 | 2599,16 | 3203,007 | -75,54 | 18099,5 | 602,4169 | -70,16 |
| 390,625 | 15700,51 | -70,26 | 2719,35 | 3080,409 | -75,56 | 18957,3 | 580,0759 | -69,83 |
| 410,657 | 15088,49 | -70,54 | 2849,56 | 2958,163 | -75,57 | 19840,6 | 558,4333 | -69,49 |
| 427,401 | 14634,57 | -70,73 | 2984,77 | 2841,747 | -75,58 | 20792,6 | 537,429 | -69,14 |
| 447,28 | 14093,43 | -70,93 | 3125 | 2730,382 | -75,59 | 21760,4 | 517,9752 | -68,75 |
| 470,753 | 13525,82 | -71,14 | 3275,24 | 2622,151 | -75,59 | 22790,2 | 498,6174 | -68,37 |
| 490,785 | 13076,14 | -71,35 | 3430,49 | 2518,906 | -75,59 | 23879,3 | 480,4111 | -67,96 |
| 515,825 | 12565,53 | -71,52 | 3590,74 | 2420,58 | -75,57 | 2,50E+04 | 462,8409 | -67,54 |
| 540,865 | 12084,16 | -71,76 | 3761,02 | 2325,462 | -75,58 | 26194,8 | 446,2089 | -67,11 |
| 565,905 | 11641,7 | -71,98 | 3936,3 | 2232,621 | -75,62 | 27424 | 430,1207 | -66,65 |
| 590,945 | 11245,58 | -72,15 | 4126,6 | 2144,809 | -75,54 | 28720,8 | 414,7827 | -66,20 |
| 620,993 | 10778,09 | -72,30 | 4321,91 | 2060,35 | -75,47 | 30075,2 | 400,1481 | -65,77 |
| 651,042 | 10371,17 | -72,50 | 4522,23 | 1980,943 | -75,45 | 31496,1 | 385,7505 | -65,28 |
| 681,09 | 9993,367 | -72,66 | 4737,58 | 1902,892 | -75,38 | 3,30E+04 | 372,3273 | -64,80 |
| 710,679 | 9641,476 | -72,79 | 4962,94 | 1826,159 | -75,39 | 34562,5 | 359,3233 | -64,27 |
| 746,194 | 9261,303 | -73,00 | 5198,16 | 1754,836 | -75,26 | 36187,5 | 347,1103 | -63,73 |
| 781,25 | 8921,061 | -73,17 | 5442,18 | 1688,025 | -75,17 | 37906,2 | 335,2062 | -63,19 |
| 816,306 | 8590,163 | -73,24 | 5697,54 | 1619,43 | -75,10 | 39687,5 | 323,9605 | -62,65 |
| 856,37 | 8255,065 | -73,38 | 5970,15 | 1556,244 | -75,01 | 41562,5 | 313,0107 | -62,07 |
| 899,53 | 7924,333 | -73,60 | 6250 | 1494,038 | -74,92 | 43531,2 | 302,9258 | -60,55 |
| 941,506 | 7631,436 | -73,70 | 6548,71 | 1435,616 | -74,85 | 45593,7 | 292,9433 | -59,93 |
| 986,579 | 7328,039 | -73,87 | 6856 | 1380,671 | -74,71 | 47750 | 283,7143 | -59,27 |
| 1031,65 | 7061,18 | -73,97 | 7180,19 | 1325,127 | -74,62 | 5,00E+04 | 274,7875 | -58,63 |
| 1081,73 | 6782,048 | -74,14 | 7518,8 | 1272,882 | -74,47 | 52375 | 265,9425 | -57,98 |
| 1131,81 | 6533,743 | -74,25 | 7874,02 | 1222,952 | -74,40 | 54843,7 | 257,942 | -57,34 |
| 1186,9 | 6269,824 | -74,32 | 8247,42 | 1178,152 | -74,12 | 57437,5 | 250,1041 | -56,63 |
| 1241,99 | 6034,267 | -74,44 | 8639,3 | 1131,254 | -74,00 | 60156,2 | 242,4393 | -55,93 |
| 1297,07 | 5815,767 | -74,57 | 9049,77 | 1087,399 | -73,75 | 6,30E+04 | 235,3409 | -55,22 |
| 1362,18 | 5580,706 | -74,66 | 9478,67 | 1044,904 | -73,68 | 65968,7 | 228,6042 | -54,60 |
| 1427,28 | 5362,108 | -74,78 | 9925,56 | 1002,92 | -73,40 | 69093,7 | 221,9958 | -53,89 |
| 1492,39 | 5163,399 | -74,82 | 10389,6 | 963,9773 | -73,19 | 72375 | 215,6863 | -53,18 |
| 1562,5 | 4962,696 | -74,92 | 10880,2 | 926,2858 | -72,99 | 75781,2 | 209,8044 | -52,49 |
| 1637,62 | 4766,44 | -75,02 | 11396 | 890,6479 | -72,85 | 79375 | 204,0483 | -51,78 |
| 1712,74 | 4588,809 | -75,07 | 11940,3 | 856,0913 | -72,56 | 83125 | 198,5997 | -51,09 |
| 1797,88 | 4402,028 | -75,15 | 12500 | 822,6258 | -72,34 | 87062,5 | 193,27 | -50,36 |
| 1878 | 4240,776 | -75,21 | 13089,1 | 791,4493 | -72,15 | 91187,5 | 188,1519 | -49,61 |
| 1968,15 | 4072,572 | -75,29 | 13712 | 760,2232 | -71,91 | 95500 | 183,1898 | -48,89 |
| 2063,3 | 3910,225 | -75,33 | 14364,9 | 731,1912 | -71,63 | 1,00E+05 | 178,3931 | -48,13 |
| 2158,45 | 3760,675 | -75,39 | 15037,6 | 702,9784 | -71,34 | | | |

Příloha 6 – Hodnoty naměřené na tkáni (po 16 minutách působení přístroje DiaDENS)

| f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] | f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] | f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] |
|----------|------------|--------|---------|------------|--------|---------|------------|--------|
| 0,099731 | 270670,9 | -12,71 | 6,10352 | 184467,9 | -28,21 | 44,3892 | 75679,7 | -52,38 |
| 0,199461 | 271094,8 | -10,75 | 6,38276 | 185516,2 | -28,71 | 46,503 | 72933,99 | -53,26 |
| 0,299192 | 263534,7 | -9,50 | 6,68878 | 182214,3 | -29,40 | 48,9505 | 72391,48 | -53,68 |
| 0,398923 | 256528,5 | -9,54 | 7,02563 | 179593,1 | -30,12 | 51,2631 | 69440,11 | -54,88 |
| 0,498653 | 251345,8 | -9,58 | 7,34258 | 176713 | -30,68 | 53,4437 | 67771,46 | -53,99 |
| 0,598384 | 245113,7 | -10,16 | 7,68947 | 173367 | -31,20 | 55,9489 | 65410,09 | -54,97 |
| 0,698115 | 243291,5 | -9,86 | 8,08747 | 172582,7 | -32,13 | 58,7406 | 63745,07 | -55,24 |
| 0,797845 | 240613,6 | -10,92 | 8,45508 | 168487,2 | -32,46 | 61,5157 | 61736,68 | -55,78 |
| 0,897576 | 238583,5 | -11,96 | 8,85771 | 164801,1 | -33,26 | 64,6072 | 59954,33 | -56,21 |
| 0,997306 | 235407,3 | -12,43 | 9,23463 | 164236,3 | -33,58 | 67,5154 | 58319,78 | -56,59 |
| 1,09704 | 233540,6 | -12,42 | 9,71704 | 160423,1 | -34,13 | 70,6557 | 56503 | -57,05 |
| 1,19677 | 232976,7 | -13,01 | 10,1725 | 157266,5 | -34,81 | 73,982 | 54942,86 | -57,40 |
| 1,29650 | 229905,1 | -14,30 | 10,6293 | 154136,6 | -35,29 | 77,7363 | 53212,13 | -57,88 |
| 1,39623 | 227797,7 | -13,39 | 11,1607 | 152916,5 | -35,84 | 81,3802 | 51453,16 | -58,31 |
| 1,49596 | 224543,4 | -14,43 | 11,6604 | 149549,3 | -36,39 | 85,1362 | 49953,52 | -58,69 |
| 1,59569 | 224229,7 | -15,18 | 12,207 | 146358,4 | -37,45 | 88,7784 | 48669,85 | -59,07 |
| 1,69542 | 222633,4 | -15,16 | 12,7794 | 143708 | -37,80 | 93,0059 | 47137,68 | -59,45 |
| 1,79515 | 221071,3 | -15,21 | 13,3776 | 142097,7 | -38,24 | 97,901 | 45540,43 | -59,94 |
| 1,89488 | 219417,6 | -15,89 | 14,0513 | 138747 | -39,00 | 102,526 | 43981,8 | -60,40 |
| 1,99461 | 216668,9 | -16,25 | 14,6852 | 135629,3 | -39,59 | 106,811 | 42824,43 | -60,72 |
| 2,11377 | 230655,6 | -17,22 | 15,3789 | 132160,3 | -40,23 | 111,898 | 41430,06 | -61,05 |
| 2,21443 | 226833,7 | -17,20 | 16,1638 | 130746,8 | -40,88 | 117,481 | 40120,16 | -61,40 |
| 2,31139 | 227123,4 | -17,76 | 16,8615 | 127852,7 | -41,19 | 123,303 | 38792,81 | -61,79 |
| 2,42926 | 225814,8 | -18,17 | 17,7154 | 123817,3 | -42,03 | 129,214 | 37517,85 | -62,21 |
| 2,54313 | 223826,2 | -18,54 | 18,4693 | 122507,7 | -42,39 | 135,216 | 36310,31 | -62,55 |
| 2,65010 | 222714,5 | -18,87 | 19,4341 | 119441,7 | -43,15 | 141,311 | 35146,41 | -62,88 |
| 2,77432 | 221222,5 | -19,38 | 20,3451 | 116133,6 | -43,72 | 147,964 | 34096,78 | -63,22 |
| 2,91511 | 220324,3 | -20,02 | 21,2585 | 115074,1 | -44,06 | 155,248 | 32880,13 | -63,60 |
| 3,05176 | 217309,4 | -20,22 | 22,3214 | 111542,4 | -44,72 | 162,76 | 31762,83 | -63,96 |
| 3,19138 | 216885,9 | -20,78 | 23,2515 | 109184,1 | -45,15 | 170,272 | 30753,7 | -64,26 |
| 3,33867 | 214626,8 | -21,43 | 24,4752 | 105961,9 | -45,91 | 177,557 | 29811,59 | -64,55 |
| 3,51281 | 212147,9 | -21,51 | 25,6316 | 103092,7 | -46,51 | 186,733 | 28732,22 | -64,92 |
| 3,67129 | 211514,5 | -22,43 | 26,7551 | 101641,2 | -46,64 | 195,312 | 27782,23 | -65,26 |
| 3,84473 | 208352,9 | -22,89 | 28,1025 | 99926,41 | -47,18 | 205,328 | 26774,79 | -65,59 |
| 4,04374 | 210073,4 | -23,44 | 29,3703 | 96150,41 | -48,06 | 213,701 | 25988,54 | -65,83 |
| 4,22754 | 204098,8 | -23,75 | 30,7579 | 93869,76 | -48,09 | 223,64 | 25118,43 | -66,18 |
| 4,42885 | 201742 | -24,93 | 32,3276 | 91706,85 | -49,28 | 235,377 | 24147,08 | -66,51 |
| 4,61732 | 201382,3 | -24,77 | 33,7577 | 89069,75 | -49,59 | 245,393 | 23402,83 | -66,78 |
| 4,85852 | 198555,4 | -25,77 | 35,3278 | 86439,26 | -50,07 | 258,429 | 22503,4 | -67,12 |
| 5,08626 | 195774,8 | -26,02 | 36,951 | 85283,21 | -50,46 | 270,433 | 21733,1 | -67,40 |
| 5,31462 | 195023,1 | -26,19 | 38,8682 | 81893,32 | -51,16 | 283,278 | 20964,07 | -67,70 |
| 5,58036 | 191964,6 | -26,97 | 40,6901 | 78687,54 | -51,44 | 295,473 | 20297,9 | -67,96 |
| 5,83022 | 189203,9 | -27,52 | 42,4592 | 77987,68 | -52,06 | 310,497 | 19533,05 | -68,25 |

| f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] | f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] | f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] |
|---------|---------------------|---------------|---------|---------------------|---------------|----------|---------------------|---------------|
| 325,521 | 18839,07 | -68,52 | 2263,62 | 3762,451 | -75,26 | 15748 | 706,59 | -70,80 |
| 340,545 | 18178,03 | -68,79 | 2368,79 | 3617,611 | -75,30 | 16496,6 | 679,8392 | -70,52 |
| 355,569 | 17570,5 | -69,02 | 2478,97 | 3477,002 | -75,33 | 17275,1 | 654,3063 | -70,19 |
| 372,734 | 16960,82 | -69,39 | 2599,16 | 3338,057 | -75,38 | 18099,5 | 629,6124 | -69,90 |
| 390,625 | 16345,56 | -69,53 | 2719,35 | 3210,32 | -75,41 | 18957,3 | 605,5513 | -69,53 |
| 410,657 | 15689,06 | -69,92 | 2849,56 | 3083,282 | -75,41 | 19840,6 | 582,9805 | -69,16 |
| 427,401 | 15191,9 | -70,09 | 2984,77 | 2961,997 | -75,42 | 20792,6 | 561,5605 | -68,77 |
| 447,28 | 14658,07 | -70,30 | 3125 | 2847,915 | -75,42 | 21760,4 | 541,0696 | -68,36 |
| 470,753 | 14078,12 | -70,53 | 3275,24 | 2734,002 | -75,42 | 22790,2 | 521,6304 | -67,99 |
| 490,785 | 13604,53 | -70,78 | 3430,49 | 2628,591 | -75,43 | 23879,3 | 501,9927 | -67,57 |
| 515,825 | 13061,19 | -71,03 | 3590,74 | 2524,746 | -75,41 | 2,50E+04 | 483,9615 | -67,19 |
| 540,865 | 12570,7 | -71,27 | 3761,02 | 2425,222 | -75,40 | 26194,8 | 466,5361 | -66,69 |
| 565,905 | 12117,99 | -71,44 | 3936,3 | 2327,512 | -75,41 | 27424 | 449,881 | -66,23 |
| 590,945 | 11696,48 | -71,63 | 4126,6 | 2235,369 | -75,42 | 28720,8 | 433,4988 | -65,77 |
| 620,993 | 11217,93 | -71,85 | 4321,91 | 2149,277 | -75,36 | 30075,2 | 418,6167 | -65,29 |
| 651,042 | 10795,19 | -71,96 | 4522,23 | 2065,817 | -75,27 | 31496,1 | 403,7375 | -64,77 |
| 681,09 | 10412,07 | -72,25 | 4737,58 | 1986,388 | -75,25 | 3,30E+04 | 389,4051 | -64,26 |
| 710,679 | 10041,23 | -72,46 | 4962,94 | 1905,875 | -75,19 | 34562,5 | 376,1558 | -63,73 |
| 746,194 | 9646,1 | -72,69 | 5198,16 | 1830,23 | -75,07 | 36187,5 | 363,2916 | -63,20 |
| 781,25 | 9278,55 | -72,74 | 5442,18 | 1762,052 | -75,01 | 37906,2 | 350,8769 | -62,64 |
| 816,306 | 8942,959 | -72,94 | 5697,54 | 1691,841 | -74,90 | 39687,5 | 339,0121 | -62,07 |
| 856,37 | 8590,889 | -73,15 | 5970,15 | 1624,598 | -74,89 | 41562,5 | 327,7687 | -61,47 |
| 899,53 | 8251,314 | -73,29 | 6250 | 1559,384 | -74,77 | 43531,2 | 317,1731 | -60,86 |
| 941,506 | 7940,036 | -73,44 | 6548,71 | 1498,371 | -74,66 | 45593,7 | 307,206 | -59,32 |
| 986,579 | 7635,078 | -73,57 | 6856 | 1440,622 | -74,53 | 47750 | 297,3498 | -58,67 |
| 1031,65 | 7350,124 | -73,71 | 7180,19 | 1383,081 | -74,44 | 5,00E+04 | 288,2471 | -58,05 |
| 1081,73 | 7066,548 | -73,88 | 7518,8 | 1328,941 | -74,34 | 52375 | 279,2031 | -57,31 |
| 1131,81 | 6798,335 | -73,98 | 7874,02 | 1275,53 | -74,21 | 54843,7 | 270,5689 | -56,61 |
| 1186,9 | 6533,262 | -74,12 | 8247,42 | 1229,295 | -73,94 | 57437,5 | 262,5384 | -55,95 |
| 1241,99 | 6287,809 | -74,23 | 8639,3 | 1179,605 | -73,88 | 60156,2 | 254,669 | -55,18 |
| 1297,07 | 6058,859 | -74,34 | 9049,77 | 1133,498 | -73,64 | 6,30E+04 | 247,2462 | -54,51 |
| 1362,18 | 5810,805 | -74,46 | 9478,67 | 1088,434 | -73,41 | 65968,7 | 240,0887 | -53,77 |
| 1427,28 | 5585,325 | -74,55 | 9925,56 | 1046,348 | -73,31 | 69093,7 | 233,3536 | -53,06 |
| 1492,39 | 5377,557 | -74,63 | 10389,6 | 1007,53 | -73,04 | 72375 | 226,9392 | -52,37 |
| 1562,5 | 5171,445 | -74,73 | 10880,2 | 967,3354 | -72,82 | 75781,2 | 220,6201 | -51,61 |
| 1637,62 | 4968,265 | -74,82 | 11396 | 929,2981 | -72,68 | 79375 | 214,9082 | -50,89 |
| 1712,74 | 4780,027 | -74,93 | 11940,3 | 892,6021 | -72,41 | 83125 | 209,2899 | -50,14 |
| 1797,88 | 4584,771 | -74,98 | 12500 | 858,0667 | -72,13 | 87062,5 | 203,7152 | -49,43 |
| 1878 | 4416,547 | -75,03 | 13089,1 | 825,9056 | -71,94 | 91187,5 | 198,5917 | -48,67 |
| 1968,15 | 4242,108 | -75,10 | 13712 | 794,1018 | -71,63 | 95500 | 193,5187 | -47,93 |
| 2063,3 | 4074,743 | -75,16 | 14364,9 | 763,7738 | -71,43 | 1,00E+05 | 188,7325 | -47,19 |
| 2158,45 | 3918,588 | -75,22 | 15037,6 | 734,5259 | -71,15 | | | |

Příloha 7 – Teoretické hodnoty pro model impedance lidské tkáně

| f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] | f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] | f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] |
|----------|---------------------|---------------|---------|---------------------|---------------|---------|---------------------|---------------|
| 0,099731 | 4574308 | -9,16 | 6,10352 | 814497,8 | -66,65 | 44,3892 | 159563,9 | -74,21 |
| 0,199461 | 4323340 | -15,68 | 6,38276 | 786208,6 | -66,98 | 46,503 | 153464,4 | -74,27 |
| 0,299192 | 4075328 | -21,04 | 6,68878 | 757550,9 | -67,31 | 48,9505 | 147006,7 | -74,35 |
| 0,398923 | 3838806 | -25,54 | 7,02563 | 728511 | -67,65 | 51,2631 | 141425,6 | -74,41 |
| 0,498653 | 3618076 | -29,39 | 7,34258 | 703304,9 | -67,95 | 53,4437 | 136569,7 | -74,46 |
| 0,598384 | 3414657 | -32,71 | 7,68947 | 677798 | -68,24 | 55,9489 | 131420,5 | -74,52 |
| 0,698115 | 3228480 | -35,59 | 8,08747 | 650895,8 | -68,55 | 58,7406 | 126158,5 | -74,58 |
| 0,797845 | 3058651 | -38,12 | 8,45508 | 628025,4 | -68,82 | 61,5157 | 121363,2 | -74,63 |
| 0,897576 | 2903889 | -40,35 | 8,85771 | 604896,1 | -69,09 | 64,6072 | 116467,7 | -74,69 |
| 0,997306 | 2762802 | -42,33 | 9,23463 | 584858,2 | -69,32 | 67,5154 | 112239,2 | -74,73 |
| 1,09704 | 2634004 | -44,09 | 9,71704 | 561221,6 | -69,59 | 70,6557 | 108033,1 | -74,78 |
| 1,19677 | 2516211 | -45,68 | 10,1725 | 540732,3 | -69,83 | 73,982 | 103936,6 | -74,82 |
| 1,29650 | 2408238 | -47,11 | 10,6293 | 521751,9 | -70,05 | 77,7363 | 99700,91 | -74,87 |
| 1,39623 | 2309026 | -48,41 | 11,1607 | 501415 | -70,29 | 81,3802 | 95934,2 | -74,91 |
| 1,49596 | 2217639 | -49,59 | 11,6604 | 483801,9 | -70,49 | 85,1362 | 92362,6 | -74,95 |
| 1,59569 | 2133248 | -50,68 | 12,207 | 466013,5 | -70,69 | 88,7784 | 89165,2 | -74,98 |
| 1,69542 | 2055125 | -51,67 | 12,7794 | 448847,6 | -70,89 | 93,0059 | 85743,46 | -75,02 |
| 1,79515 | 1982630 | -52,58 | 13,3776 | 432317,6 | -71,08 | 97,901 | 82121,9 | -75,06 |
| 1,89488 | 1915201 | -53,43 | 14,0513 | 415217 | -71,28 | 102,526 | 78993,25 | -75,09 |
| 1,99461 | 1852342 | -54,21 | 14,6852 | 400417,1 | -71,45 | 106,811 | 76317,58 | -75,12 |
| 2,11377 | 1782624 | -55,07 | 15,3789 | 385481,9 | -71,62 | 111,898 | 73386,54 | -75,15 |
| 2,21443 | 1727847 | -55,75 | 16,1638 | 369979,5 | -71,80 | 117,481 | 70439,34 | -75,18 |
| 2,31139 | 1678309 | -56,36 | 16,8615 | 357294,9 | -71,95 | 123,303 | 67628,35 | -75,21 |
| 2,42926 | 1621953 | -57,04 | 17,7154 | 343001,4 | -72,11 | 129,214 | 65013,61 | -75,23 |
| 2,54313 | 1571162 | -57,66 | 18,4693 | 331377,3 | -72,24 | 135,216 | 62574,54 | -75,26 |
| 2,65010 | 1526408 | -58,20 | 19,4341 | 317695 | -72,40 | 141,311 | 60293,4 | -75,28 |
| 2,77432 | 1477703 | -58,79 | 20,3451 | 305857,6 | -72,54 | 147,964 | 58001,49 | -75,30 |
| 2,91511 | 1426330 | -59,41 | 21,2585 | 294914,7 | -72,66 | 155,248 | 55700,25 | -75,32 |
| 3,05176 | 1379965 | -59,97 | 22,3214 | 283206,5 | -72,80 | 162,76 | 53526,24 | -75,34 |
| 3,19138 | 1335789 | -60,50 | 23,2515 | 273760,5 | -72,91 | 170,272 | 51529,41 | -75,36 |
| 3,33867 | 1292336 | -61,02 | 24,4752 | 262329,5 | -73,04 | 177,557 | 49741,96 | -75,38 |
| 3,51281 | 1244698 | -61,58 | 25,6316 | 252442 | -73,15 | 186,733 | 47673,89 | -75,39 |
| 3,67129 | 1204492 | -62,06 | 26,7551 | 243582,7 | -73,25 | 195,312 | 45902,78 | -75,41 |
| 3,84473 | 1163559 | -62,55 | 28,1025 | 233811 | -73,36 | 205,328 | 44008,06 | -75,43 |
| 4,04374 | 1120116 | -63,06 | 29,3703 | 225364,7 | -73,46 | 213,701 | 42550,06 | -75,44 |
| 4,22754 | 1082973 | -63,50 | 30,7579 | 216849,9 | -73,56 | 223,64 | 40950,32 | -75,45 |
| 4,42885 | 1045213 | -63,95 | 32,3276 | 208024 | -73,66 | 235,377 | 39221,99 | -75,46 |
| 4,61732 | 1012341 | -64,33 | 33,7577 | 200637,1 | -73,74 | 245,393 | 37867,93 | -75,47 |
| 4,85852 | 973382,4 | -64,79 | 35,3278 | 193157,7 | -73,83 | 258,429 | 36250,92 | -75,48 |
| 5,08626 | 939450,2 | -65,19 | 36,951 | 186037,6 | -73,91 | 270,433 | 34889,39 | -75,49 |
| 5,31462 | 907893,5 | -65,56 | 38,8682 | 178330,3 | -73,99 | 283,278 | 33550,62 | -75,50 |
| 5,58036 | 873934,3 | -65,96 | 40,6901 | 171623,5 | -74,07 | 295,473 | 32379,16 | -75,50 |
| 5,83022 | 844414,4 | -66,30 | 42,4592 | 165616,2 | -74,14 | 310,497 | 31052,93 | -75,51 |

| f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] | f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] | f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] |
|---------|---------------------|---------------|---------|---------------------|---------------|----------|---------------------|---------------|
| 325,521 | 29839,91 | -75,52 | 2263,62 | 5823,221 | -74,85 | 15748 | 1159,509 | -70,21 |
| 340,545 | 28725,86 | -75,52 | 2368,79 | 5605,147 | -74,81 | 16496,6 | 1116,469 | -69,98 |
| 355,569 | 27698,86 | -75,52 | 2478,97 | 5395,059 | -74,77 | 17275,1 | 1075,391 | -69,75 |
| 372,734 | 26619,21 | -75,52 | 2599,16 | 5184,694 | -74,72 | 18099,5 | 1035,477 | -69,50 |
| 390,625 | 25587,3 | -75,53 | 2719,35 | 4991,546 | -74,67 | 18957,3 | 997,3777 | -69,25 |
| 410,657 | 24530,61 | -75,53 | 2849,56 | 4799,322 | -74,62 | 19840,6 | 961,3521 | -68,99 |
| 427,401 | 23717,64 | -75,53 | 2984,77 | 4616,154 | -74,56 | 20792,6 | 925,7185 | -68,72 |
| 447,28 | 22825,54 | -75,53 | 3125 | 4441,691 | -74,51 | 21760,4 | 892,4732 | -68,45 |
| 470,753 | 21861,91 | -75,52 | 3275,24 | 4270,126 | -74,45 | 22790,2 | 859,9905 | -68,16 |
| 490,785 | 21106,97 | -75,52 | 3430,49 | 4107,461 | -74,39 | 23879,3 | 828,4826 | -67,85 |
| 515,825 | 20239,58 | -75,52 | 3590,74 | 3953,219 | -74,32 | 2,50E+04 | 798,737 | -67,54 |
| 540,865 | 19446,5 | -75,51 | 3761,02 | 3802,664 | -74,26 | 26194,8 | 769,6444 | -67,22 |
| 565,905 | 18718,35 | -75,51 | 3936,3 | 3660,288 | -74,19 | 27424 | 742,1882 | -66,89 |
| 590,945 | 18047,29 | -75,50 | 4126,6 | 3518,396 | -74,12 | 28720,8 | 715,6063 | -66,55 |
| 620,993 | 17308,11 | -75,49 | 4321,91 | 3384,804 | -74,04 | 30075,2 | 690,1358 | -66,19 |
| 651,042 | 16632,05 | -75,49 | 4522,23 | 3258,889 | -73,96 | 31496,1 | 665,6219 | -65,82 |
| 681,09 | 16011,2 | -75,48 | 4737,58 | 3134,528 | -73,88 | 3,30E+04 | 641,8335 | -65,44 |
| 710,679 | 15447,3 | -75,47 | 4962,94 | 3015,093 | -73,80 | 34562,5 | 619,1776 | -65,04 |
| 746,194 | 14825,11 | -75,46 | 5198,16 | 2900,665 | -73,71 | 36187,5 | 597,5665 | -64,64 |
| 781,25 | 14262,3 | -75,45 | 5442,18 | 2791,642 | -73,62 | 37906,2 | 576,6067 | -64,22 |
| 816,306 | 13744,22 | -75,43 | 5697,54 | 2686,817 | -73,53 | 39687,5 | 556,6886 | -63,79 |
| 856,37 | 13200,19 | -75,42 | 5970,15 | 2584,081 | -73,43 | 41562,5 | 537,4625 | -63,34 |
| 899,53 | 12664,31 | -75,40 | 6250 | 2487,256 | -73,33 | 43531,2 | 518,9594 | -62,88 |
| 941,506 | 12186,75 | -75,39 | 6548,71 | 2392,368 | -73,22 | 45593,7 | 501,1958 | -62,40 |
| 986,579 | 11715,83 | -75,37 | 6856 | 2302,751 | -73,11 | 47750 | 484,1786 | -61,91 |
| 1031,65 | 11283,01 | -75,35 | 7180,19 | 2215,913 | -73,00 | 5,00E+04 | 467,9066 | -61,41 |
| 1081,73 | 10841,24 | -75,34 | 7518,8 | 2132,624 | -72,88 | 52375 | 452,1719 | -60,89 |
| 1131,81 | 10435,65 | -75,32 | 7874,02 | 2052,388 | -72,75 | 54843,7 | 437,1915 | -60,35 |
| 1186,9 | 10026,08 | -75,29 | 8247,42 | 1974,953 | -72,62 | 57437,5 | 422,775 | -59,80 |
| 1241,99 | 9650,147 | -75,27 | 8639,3 | 1900,362 | -72,49 | 60156,2 | 408,9394 | -59,24 |
| 1297,07 | 9303,824 | -75,25 | 9049,77 | 1828,657 | -72,35 | 6,30E+04 | 395,6906 | -58,65 |
| 1362,18 | 8927,874 | -75,22 | 9478,67 | 1759,887 | -72,21 | 65968,7 | 383,0292 | -58,06 |
| 1427,28 | 8583,728 | -75,20 | 9925,56 | 1694,098 | -72,06 | 69093,7 | 370,8315 | -57,44 |
| 1492,39 | 8267,326 | -75,17 | 10389,6 | 1631,341 | -71,90 | 72375 | 359,1166 | -56,81 |
| 1562,5 | 7953,919 | -75,14 | 10880,2 | 1570,394 | -71,74 | 75781,2 | 347,9927 | -56,17 |
| 1637,62 | 7645,685 | -75,11 | 11396 | 1511,569 | -71,57 | 79375 | 337,2588 | -55,51 |
| 1712,74 | 7362,48 | -75,08 | 11940,3 | 1454,61 | -71,40 | 83125 | 327,0196 | -54,83 |
| 1797,88 | 7067,989 | -75,04 | 12500 | 1400,843 | -71,22 | 87062,5 | 317,1931 | -54,14 |
| 1878 | 6813,437 | -75,01 | 13089,1 | 1348,864 | -71,03 | 91187,5 | 307,7878 | -53,44 |
| 1968,15 | 6549,957 | -74,97 | 13712 | 1298,416 | -70,83 | 95500 | 298,8063 | -52,72 |
| 2063,3 | 6294,988 | -74,94 | 14364,9 | 1249,902 | -70,63 | 1,00E+05 | 290,246 | -51,98 |
| 2158,45 | 6060,831 | -74,90 | 15037,6 | 1204,013 | -70,42 | | | |

Příloha 8 – Hodnoty naměřené na modelu impedance lidské tkáně

| f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] | f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] | f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] |
|----------|------------|--------|---------|------------|--------|---------|------------|--------|
| 0,099731 | 4248905 | -12,79 | 6,10352 | 724898,8 | -70,40 | 44,3892 | 143610,1 | -73,08 |
| 0,199461 | 4764193 | -21,43 | 6,38276 | 664949,9 | -63,15 | 46,503 | 138030,1 | -73,31 |
| 0,299192 | 4408330 | -25,10 | 6,68878 | 642467,4 | -64,92 | 48,9505 | 133202,8 | -73,35 |
| 0,398923 | 3996214 | -30,19 | 7,02563 | 632413,4 | -67,59 | 51,2631 | 126936,1 | -73,42 |
| 0,498653 | 3890194 | -29,32 | 7,34258 | 612858,4 | -69,39 | 53,4437 | 123883,4 | -72,98 |
| 0,598384 | 3364078 | -36,10 | 7,68947 | 605415,5 | -71,20 | 55,9489 | 118941 | -72,96 |
| 0,698115 | 3399809 | -32,72 | 8,08747 | 571152,4 | -68,45 | 58,7406 | 114267,4 | -73,00 |
| 0,797845 | 3183157 | -43,85 | 8,45508 | 552893,5 | -70,33 | 61,5157 | 110178,3 | -72,94 |
| 0,897576 | 2905969 | -50,00 | 8,85771 | 536878 | -71,54 | 64,6072 | 105917,7 | -72,81 |
| 0,997306 | 2564905 | -49,90 | 9,23463 | 510930,1 | -68,35 | 67,5154 | 102188,6 | -72,81 |
| 1,09704 | 2514945 | -49,39 | 9,71704 | 493635,8 | -69,91 | 70,6557 | 98670,68 | -72,85 |
| 1,19677 | 2379076 | -52,81 | 10,1725 | 479539,3 | -71,41 | 73,982 | 95194,86 | -72,77 |
| 1,29650 | 2123182 | -55,90 | 10,6293 | 448342,4 | -67,04 | 77,7363 | 91480,95 | -72,68 |
| 1,39623 | 2263896 | -52,52 | 11,1607 | 440097,6 | -69,58 | 81,3802 | 88167,13 | -72,79 |
| 1,49596 | 2072505 | -54,41 | 11,6604 | 427894,8 | -70,68 | 85,1362 | 85038,97 | -72,79 |
| 1,59569 | 1935664 | -57,94 | 12,207 | 414280,8 | -71,24 | 88,7784 | 82323,96 | -72,74 |
| 1,69542 | 1873236 | -56,87 | 12,7794 | 400817,4 | -71,39 | 93,0059 | 79291,83 | -72,80 |
| 1,79515 | 1853274 | -55,76 | 13,3776 | 380576 | -68,84 | 97,901 | 76186,97 | -72,83 |
| 1,89488 | 1764069 | -57,40 | 14,0513 | 367247,8 | -70,29 | 102,526 | 73487,2 | -72,91 |
| 1,99461 | 1684324 | -56,80 | 14,6852 | 357678,9 | -71,38 | 106,811 | 71137,76 | -72,97 |
| 2,11377 | 1699503 | -61,91 | 15,3789 | 345778,3 | -71,95 | 111,898 | 68562,55 | -73,08 |
| 2,21443 | 1703500 | -65,50 | 16,1638 | 326001,7 | -69,95 | 117,481 | 66009,85 | -73,07 |
| 2,31139 | 1609468 | -63,46 | 16,8615 | 317450,3 | -71,00 | 123,303 | 63503,49 | -73,17 |
| 2,42926 | 1491409 | -61,57 | 17,7154 | 309131,5 | -72,51 | 129,214 | 61143,97 | -73,26 |
| 2,54313 | 1494337 | -65,29 | 18,4693 | 294758,1 | -70,98 | 135,216 | 58968,79 | -73,36 |
| 2,65010 | 1388475 | -62,60 | 19,4341 | 285054,7 | -72,18 | 141,311 | 56889,72 | -73,49 |
| 2,77432 | 1401091 | -66,49 | 20,3451 | 274464,3 | -72,73 | 147,964 | 54826,41 | -73,56 |
| 2,91511 | 1329894 | -63,58 | 21,2585 | 261977,8 | -70,83 | 155,248 | 52738,15 | -73,67 |
| 3,05176 | 1294559 | -67,45 | 22,3214 | 253015,8 | -71,71 | 162,76 | 50715,28 | -73,76 |
| 3,19138 | 1213175 | -63,53 | 23,2515 | 244622 | -71,85 | 170,272 | 48839,27 | -73,82 |
| 3,33867 | 1205739 | -66,90 | 24,4752 | 235763,6 | -72,78 | 177,557 | 47190,68 | -73,95 |
| 3,51281 | 1091656 | -61,87 | 25,6316 | 226826,8 | -73,00 | 186,733 | 45264,79 | -74,03 |
| 3,67129 | 1084379 | -66,54 | 26,7551 | 218232,1 | -71,61 | 195,312 | 43606,29 | -74,11 |
| 3,84473 | 1073058 | -68,61 | 28,1025 | 210773,4 | -72,36 | 205,328 | 41803,71 | -74,19 |
| 4,04374 | 987579,7 | -64,24 | 29,3703 | 202622,9 | -73,13 | 213,701 | 40424,27 | -74,25 |
| 4,22754 | 975543,1 | -67,46 | 30,7579 | 195547,2 | -73,37 | 223,64 | 38897,38 | -74,29 |
| 4,42885 | 962386,2 | -69,61 | 32,3276 | 186624,6 | -72,27 | 235,377 | 37231,57 | -74,36 |
| 4,61732 | 888066 | -64,47 | 33,7577 | 179758 | -72,85 | 245,393 | 35931,39 | -74,39 |
| 4,85852 | 875791,1 | -67,87 | 35,3278 | 173359,3 | -73,34 | 258,429 | 34378,86 | -74,41 |
| 5,08626 | 843330,7 | -69,45 | 36,951 | 166252,1 | -72,16 | 270,433 | 33079,03 | -74,43 |
| 5,31462 | 776365,6 | -63,79 | 38,8682 | 160482 | -73,08 | 283,278 | 31769,35 | -74,41 |
| 5,58036 | 758649,3 | -65,47 | 40,6901 | 155251,9 | -73,55 | 295,473 | 30624,6 | -74,38 |
| 5,83022 | 749696,2 | -68,50 | 42,4592 | 148542,6 | -72,96 | 310,497 | 29361,99 | -74,36 |

| f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] | f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] | f [Hz] | Abs(Z) [Ω] | φ [°] |
|---------|------------|--------|---------|------------|--------|----------|------------|--------|
| 325,521 | 28197,84 | -74,32 | 2263,62 | 5812,064 | -71,99 | 15748 | 1278,587 | -70,26 |
| 340,545 | 27121,99 | -74,28 | 2368,79 | 5599,523 | -71,89 | 16496,6 | 1228,49 | -70,23 |
| 355,569 | 26142,46 | -74,23 | 2478,97 | 5398,093 | -71,83 | 17275,1 | 1181,282 | -70,17 |
| 372,734 | 25115,07 | -74,15 | 2599,16 | 5193,172 | -71,71 | 18099,5 | 1134,8 | -70,20 |
| 390,625 | 24139,43 | -74,04 | 2719,35 | 5008,419 | -71,64 | 18957,3 | 1091,401 | -70,11 |
| 410,657 | 23141,91 | -73,97 | 2849,56 | 4822,325 | -71,50 | 19840,6 | 1049,947 | -70,01 |
| 427,401 | 22375,08 | -73,87 | 2984,77 | 4646,901 | -71,39 | 20792,6 | 1009,111 | -69,92 |
| 447,28 | 21542,48 | -73,79 | 3125 | 4479,075 | -71,25 | 21760,4 | 970,4336 | -69,81 |
| 470,753 | 20651,28 | -73,67 | 3275,24 | 4313,203 | -71,10 | 22790,2 | 932,9153 | -69,66 |
| 490,785 | 19944,98 | -73,58 | 3430,49 | 4157,123 | -70,96 | 23879,3 | 896,7625 | -69,50 |
| 515,825 | 19148,65 | -73,46 | 3590,74 | 4010,514 | -70,82 | 2,50E+04 | 863,3286 | -69,26 |
| 540,865 | 18426,64 | -73,53 | 3761,02 | 3867,488 | -70,68 | 26194,8 | 830,1243 | -69,10 |
| 565,905 | 17767,31 | -73,21 | 3936,3 | 3732,548 | -70,53 | 27424 | 798,4422 | -68,82 |
| 590,945 | 17173,53 | -73,24 | 4126,6 | 3599,128 | -70,39 | 28720,8 | 767,9323 | -68,57 |
| 620,993 | 16494,58 | -73,10 | 4321,91 | 3473,116 | -70,27 | 30075,2 | 739,4008 | -68,26 |
| 651,042 | 15882,13 | -72,98 | 4522,23 | 3355,987 | -70,14 | 31496,1 | 711,6456 | -67,97 |
| 681,09 | 15339,54 | -73,03 | 4737,58 | 3239,571 | -70,03 | 3,30E+04 | 684,6911 | -67,66 |
| 710,679 | 14805,24 | -72,81 | 4962,94 | 3127,257 | -69,94 | 34562,5 | 659,1375 | -67,30 |
| 746,194 | 14225,4 | -72,76 | 5198,16 | 3020,612 | -69,85 | 36187,5 | 635,2394 | -66,91 |
| 781,25 | 13717,35 | -72,67 | 5442,18 | 2918,966 | -69,78 | 37906,2 | 611,7186 | -66,49 |
| 816,306 | 13242,84 | -72,67 | 5697,54 | 2820,519 | -69,70 | 39687,5 | 590,3049 | -66,13 |
| 856,37 | 12760,35 | -72,54 | 5970,15 | 2723,673 | -69,66 | 41562,5 | 569,0219 | -65,71 |
| 899,53 | 12262,56 | -72,50 | 6250 | 2632,992 | -69,64 | 43531,2 | 548,8205 | -65,28 |
| 941,506 | 11835,25 | -72,54 | 6548,71 | 2542,966 | -69,60 | 45593,7 | 529,5417 | -64,83 |
| 986,579 | 11396,18 | -72,45 | 6856 | 2459,177 | -69,60 | 47750 | 511,2729 | -64,38 |
| 1031,65 | 10997,68 | -72,46 | 7180,19 | 2375,633 | -69,60 | 5,00E+04 | 493,7437 | -63,92 |
| 1081,73 | 10594,78 | -72,42 | 7518,8 | 2293,691 | -69,69 | 52375 | 476,8044 | -63,42 |
| 1131,81 | 10213,6 | -72,37 | 7874,02 | 2213,445 | -69,76 | 54843,7 | 461,0526 | -62,98 |
| 1186,9 | 9835,828 | -72,38 | 8247,42 | 2143,366 | -69,81 | 57437,5 | 445,4668 | -62,46 |
| 1241,99 | 9486,335 | -72,41 | 8639,3 | 2069,636 | -69,85 | 60156,2 | 430,7279 | -61,97 |
| 1297,07 | 9161,958 | -72,40 | 9049,77 | 1997,083 | -69,87 | 6,30E+04 | 416,735 | -61,46 |
| 1362,18 | 8805,47 | -72,37 | 9478,67 | 1926,597 | -69,86 | 65968,7 | 403,3538 | -60,97 |
| 1427,28 | 8476,47 | -72,39 | 9925,56 | 1859,433 | -69,93 | 69093,7 | 390,2449 | -60,46 |
| 1492,39 | 8177,519 | -72,36 | 10389,6 | 1794,609 | -69,96 | 72375 | 377,9633 | -59,94 |
| 1562,5 | 7872,552 | -72,34 | 10880,2 | 1733,049 | -70,02 | 75781,2 | 366,0975 | -59,46 |
| 1637,62 | 7576,601 | -72,35 | 11396 | 1668,658 | -70,07 | 79375 | 354,4686 | -58,97 |
| 1712,74 | 7309,364 | -72,31 | 11940,3 | 1608,177 | -70,09 | 83125 | 343,7455 | -58,45 |
| 1797,88 | 7020,118 | -72,24 | 12500 | 1547,442 | -70,15 | 87062,5 | 332,962 | -57,99 |
| 1878 | 6772,325 | -72,22 | 13089,1 | 1489,905 | -70,16 | 91187,5 | 322,7375 | -56,53 |
| 1968,15 | 6518,872 | -72,18 | 13712 | 1434,968 | -70,21 | 95500 | 312,2299 | -55,89 |
| 2063,3 | 6271,737 | -72,12 | 14364,9 | 1379,811 | -70,28 | 1,00E+05 | 302,416 | -55,35 |
| 2158,45 | 6044,3 | -72,06 | 15037,6 | 1328,603 | -70,27 | | | |

Příloha 9 – Netlist pro program PSpice – modelování prvku s konstantní fází

CPE

Vin in 0 AC 0.01

R1 in 1 9.23meg

R2 in 2 1.557meg

R3 in 3 0.2627meg

R4 in 4 44.32k

R5 in 5 7.477k

R6 in 6 1261

Rp in 0 45.48meg

C1 1 0 11.4955n

C2 2 0 8.28243n

C3 3 0 5.96744n

C4 4 0 4.2995n

C5 5 0 3.09777n

C6 6 0 2.23192n

Cp in 0 5.4332n

.AC DEC 100 0.1 1meg

.PROBE

.END

Příloha 10 – Netlist pro program PSpice – modelování prvku s konstantní fází s reálnými hodnotami součástek

CPE

Vin in 0 AC 0.01

R1 in 1 9.1meg

R2 in 2 1.6meg

R3 in 3 0.27meg

R4 in 4 43k

R5 in 5 7.5k

R6 in 6 1200

Rp in 0 45.1meg

C1 1 0 11.5n

C2 2 0 8n

C3 3 0 6n

C4 4 0 4.3n

C5 5 0 3.3n

C6 6 0 2.2n

Cp in 0 5.7n

.AC DEC 100 0.1 1meg

.OP

.PROBE

.END